

**Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie
und Institut für Landtechnik
der Justus-Liebig-Universität Gießen**

**Quantitative und qualitative Dosiergenauigkeit
von Flüssigfütterungsanlagen für Mastschweine**

**Quantitative and Qualitative Dosification Accuracy of Computer-controlled
Liquid Feeding Systems for Growing Pigs**

**Dissertation
zur Erlangung der Doktorgrades der Agrarwissenschaften
im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen**

Eingereicht von

Dipl.-Ing. agr. Jürgen Luft

Gießen 2008

Dissertation am Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekanin: Prof. Dr. Ingrid-Ute Leonhäuser

1. Gutachter: Prof. Dr. Edgar Weigand

2. Gutachter: Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz

Tag der Disputation: 4. Dezember 2008

Vorsitzender der
Prüfungskommission: Prof. Dr. Steffen Hoy

Prüfer: Prof. Dr. Josef Pallauf

Prüfer: Prof. Dr. Hermann Seufert

Inhaltsverzeichnis		
1	Einleitung	7
2	Literaturübersicht	9
2.1	Verfahren und Einsatzschwerpunkte der Flüssigfütterung	9
2.1.1	Grundprinzip und Bedeutung	9
2.1.2	Aufbau von Flüssigfütterungsanlagen	10
2.1.3	Futterzuteilung	12
2.1.4	Flüssigfütterung von Mastschweinen	12
2.2	Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen	13
2.2.1	Quantitative Dosiergenauigkeit	13
2.2.1.1	Definition	13
2.2.1.2	Anforderungen an die quantitative Dosiergenauigkeit	14
2.2.1.3	Quantitative Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen	14
2.2.2	Qualitative Dosiergenauigkeit	18
2.2.2.1	Definition	18
2.2.2.2	Anforderungen an die qualitative Dosiergenauigkeit	18
2.2.2.3	Qualitative Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen	19
2.3	Ursachen für Abweichungen der Dosiergenauigkeit	20
2.3.1	Mechanisch-technisch bedingte Ursachen einer ungenauen Futterzuteilung	21
2.3.1.1	Anmischvorgang	22
2.3.1.2	Wiegesystem	23
2.3.2	Einfluss von Futterkomponenten und –zusammensetzung	23
2.4	Probenahme aus flüssigen Medien	26
2.4.1	Rechtliche Grundlagen	26
2.5	Moderne Fütterungsmethoden in der Flüssigfütterung	27
2.5.1	Fütterungstechnik in der Phasenfütterung	28
2.6	Hygiene-Aspekte der Flüssigfütterung	29
3.	Material und Methoden	31
3.1	Beschreibung der Flüssigfütterungsanlagen	31
3.1.1	Wäge-Mischbehälter	31
3.1.2	Rührwerke und Pumpen	33

3.1.3	Rohrleitung und Ventile	36
3.1.4	Anlagensteuerung	37
3.2	Zusammensetzung des Flüssigfutters	40
3.2.1	Futterrezepturen	40
3.2.2	Futter-Wasser-Verhältnis	40
3.2.3	Futterkomponenten	41
3.2.3.1	Gerste	41
3.2.3.2	Weizen	41
3.2.3.3	Sojaextraktionsschrot	41
3.2.3.4	Mineralfutter	42
3.3	Probenahmeverfahren	43
3.3.1	Handentnahme	43
3.3.2	Probenmessstab	44
3.3.3	Radprobenteiler	48
3.3.4	Laborprobenteiler	49
3.4	Mineralfutteruntersuchung	52
3.4.1	Löslichkeitsverhalten	52
3.4.2	Dichtebestimmung und Siebanalyse	53
3.5	Analytische Methoden	53
3.5.1	Probenaufbereitung	53
3.5.2	Trockenmasse	54
3.5.3	Rohprotein	54
3.5.3	Rohasche	54
3.5.4	Mengenelemente (Ca, P)	54
3.5.5	Spurenelemente (Zn, Cu)	55
3.6	Statistische Methoden	55
3.6.1	Definitionen	55
3.6.1.1.	Wiederholstandardabweichung	56
3.6.1.2	Wiederholbarkeit	57
3.6.1.3	Richtigkeit	57
3.6.1.4	Dosierfehler	58
3.6.1.5	Messwiederholungen	58
3.6.2	Statistische Modelle	59
3.6.2.1	Einfaktorielle Varianzanalyse	59
3.6.2.2	Zwei- und dreifaktorielle Varianzanalyse	59
3.6.2.3	Einfache lineare Regression	60

4	Ergebnisse	
4.1	Probenahmeverfahren	61
4.1.1	Handentnahme	61
4.1.1.1	Einfluss der Behälterform	61
4.1.1.2	Einfluss des Probenehmers	68
4.1.1.3	Einfluss der Probenmenge	71
4.1.2	Probenmessstab	74
4.1.2.1	Einfluss des Rührwerks auf die Probenahme	74
4.1.2.2	Homogenität der Futtersuppe im Anmischbehälter	78
4.1.2.3	Einfluss eines Bypasses im Leitungssystem auf die Homogenität der Futtersuppe im Anmischbehälter	82
4.1.3	Radprobenteiler	85
4.1.4	Laborprobenteiler	88
4.2	Einflussgrößen auf das Verhalten von Flüssigfutter im Anmischbehälter	92
4.2.1	Einfluss des Quellverhaltens	92
4.2.2	Einfluss von Rührwerk und Mischbehälter	96
4.2.3	Sedimentationsuntersuchungen im Anmischbehälter	97
4.2.4	Variation des Futter-Wasser-Verhältnisses	98
4.3	Quantitative Dosiergenauigkeit	100
4.3.1	Einfluss des Rührwerkes auf die quantitative Dosiergenauigkeit	100
4.3.2	Einfluss der Anlagenkonfiguration auf die quantitative Dosiergenauigkeit	103
4.4	Qualitative Dosiergenauigkeit	111
4.4.1	Einfluss des Rührwerkes auf die qualitative Dosiergenauigkeit	111
4.4.1.1	Trockenmasse	111
4.4.1.2	Rohasche	114
4.4.1.3	Rohprotein	117
4.4.1.4	Mengenelemente (Ca, P)	119
4.4.1.5	Spurenelemente (Zn, Cu)	123
4.4.2	Einfluss der Anlagenkonfiguration auf die quantitative Dosiergenauigkeit	128
4.4.2.1	Trockenmasse	128

4.4.2.2	Rohasche	134
4.4.2.3	Rohprotein	139
4.4.2.4	Mineralstoffe (Ca, P)	144
4.4.2.5	Spurenelemente (Zn, Cu)	146
4.5	Probenaufbereitung	150
4.6	Laboranalytische Prüfung der Mineralfutterkomponente	152
4.6.1	Löslichkeitsverhalten	152
4.6.1.1	Verfahren a	152
4.6.1.2	Verfahren b	153
4.6.2	Siebanalyse und Dichtebestimmung	154
5	Diskussion	157
5.1	Nährstoffverteilung im Flüssigfutter	157
5.2	Probenahmeverfahren	160
5.2.1	Probenahme aus dem Mischbehälter	160
5.2.2	Probenahme nach der Ausdosierung	162
5.3	Mischgüte und Mischstabilität	164
5.3.1	Futtermittelbezogene Einflüsse	164
5.3.2	Anlagentechnische Einflüsse	166
5.3.3	Mischstabilität	168
5.4	Quantitative Dosiergenauigkeit	172
5.5	Qualitative Dosiergenauigkeit	174
6	Zusammenfassungen	179
6.1	Zusammenfassung	179
6.2	Englische Zusammenfassung	181
7	Literaturverzeichnis	183
8	Tabellenanhang	187
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	217

1 Einleitung

Innerhalb der tierischen Produktion ist die Schweinemast nach der Milchproduktion der wichtigste Produktionszweig der deutschen Landwirtschaft. Die langfristige Entwicklung der Mastschweineproduktion ist durch eine schnelle Expansion und durch einen erheblichen Strukturwandel geprägt. Diese Veränderungen wirken sich auch auf die Fütterung und die dazugehörige Technik aus.

Da die Kosten für das Futter und die Fütterungstechnik bei Mastschweinen mehr als die Hälfte der Gesamtkosten ausmachen, ist es besonders bei niedrigen Schweinepreisen wichtig, die Kosten der Fütterung gering zu halten (BECK 1989 a und b; SCHWARZ 1989 a und b). Der Verbraucher ist hingegen kaum gewillt, für verschärfte Produktionsbedingungen auch nur einen Cent mehr zu bezahlen (SCHWARZ und SEUFERT 2001).

Eine Kostenreduktion lässt sich unter anderem durch eine Fütterungstechnik erreichen, die eine hohe Flexibilität in der Auswahl von Futtermitteln, eine preiswerte Zubereitung qualitativ hochwertigen Futters und eine nach Menge und Inhaltsstoffen bedarfsgerechte Fütterung ermöglicht. Die Fütterungstechnik darf durch Verzicht auf nicht benötigte Ausstattungsvarianten, durch Versorgung mehrerer Futterachsen mit nur einer zentralen Futterstelle oder durch einfache Ausbaumöglichkeiten bei eventuellen Bestandsvergrößerungen nur geringe Kosten verursachen.

Da die Schweine mehrmals täglich gefüttert werden, müssen bei der Auswahl der Fütterungstechnik außerdem auch arbeitswirtschaftliche Gesichtspunkte beachtet werden. Bei den zyklisch schwankenden Schweinepreisen kann ein ausreichendes Einkommen nur erzielt werden, wenn eine Arbeitskraft eine größere Tierzahl betreuen kann. Neben der Einsparung von Arbeitszeit sollte auch eine Erleichterung der Arbeit und eine zeitliche Unabhängigkeit durch die Fütterungstechnik gewährleistet sein. Es müssen daher vollautomatische Anlagen mit ausbaufähiger Automatisierung und Möglichkeiten zur Datenerfassung und -übertragung eingerichtet werden.

Durch verschärfte Umweltauflagen und nicht zuletzt, seit die sukzessive Bindung der Agrarförderung an Umweltauflagen gekoppelt ist, gerät die Landwirtschaft in Deutschland und der Europäischen Union in den letzten Jahren immer mehr in die öffentliche Diskussion. Daraus resultieren höhere Anforderungen und Auflagen an die Landwirte wie die Gülleverordnung oder die Düngemittel-Anwendungsverordnung. Gerade in der Mastschweinefütterung stehen Umweltaspekte und damit die Verringerung der Nährstoffausscheidung der Tiere im Vordergrund. Wie Erkenntnisse aus der Tierernährung zeigen, lässt sich eine Verringerung erreichen, wenn die in der Vergangenheit häufig

praktizierte Überversorgung der Tiere mit Stickstoff und Phosphor von einer bedarfsgerechten Fütterung abgelöst wird (PFEFFER 1992, SPIEKERS und BRINKER 1992, SPIEKERS 1993).

Dazu wurden altbewährte Fütterungskonzepte, wie die Phasenfütterung, reaktiviert. Seit einigen Jahren werden beispielsweise spezielle Futtermittel, sogenannte RAM-Futter, angeboten. Dieses im Rohprotein- und Phosphorgehalt reduzierte Futter sorgt in Verbindung mit dem Zusatz von limitierenden Aminosäuren und dem Enzym Phytase dafür, dass bei einer sachgerechten Anwendung die erwünschten Leistungen ohne wirtschaftliche Einbußen erzielt werden können. Diese Maßnahmen müssen jedoch in der Praxis durch zielgerichtete Fütterungstechniken umgesetzt werden.

Ziel der vorliegenden Dissertation war es daher, unter Einsatz geeigneter Probenahmeverfahren, die Arbeitsqualität von Flüssigfütterungsanlagen in ihrer quantitativen und qualitativen Dosiergenauigkeit zu bewerten.

2 Literaturübersicht

Die vorliegende Literaturübersicht soll einen kurzen Einblick in die Flüssigfütterung geben. Auf eine ausführliche Beschreibung der Anlagen- und Verfahrenstechnik wird bewusst verzichtet. Detaillierte Ausführungen sind hierzu unter anderem in den Arbeiten von BECK (1989 b), SCHWARZ (1989 b), ECKL (1992) und RATSCHOW (1993) gegeben.

2.1 Verfahren und Einsatzschwerpunkte der Flüssigfütterung

2.1.1 Grundprinzip und Bedeutung

Die Flüssigfütterung beruht auf einem einfachen Grundprinzip: Trockene oder feuchte Futtermittel werden mit Wasser oder flüssigen Futtermittel wie z.B. Molke, Magermilch, Schlempe oder Bierhefe vermischt und durch eine Rohrleitung in den Stall gepumpt, wo die Mischung über Ventile an die einzelnen Tröge verteilt wird (SOMMER und ZÄHRES 1987). Zum Anmischen, Fördern und Vorlegen des Flüssigfutters dienen Flüssigfütterungsanlagen (RATSCHOW 1993). In der älteren Literatur wird die Flüssigfütterung auch als Nass- oder Feuchtfütterung bezeichnet (SWOBODA 1987).

Die Flüssigfütterung wird als Fütterungstechnik vorwiegend in der Schweinemast eingesetzt. Stellenweise kommt sie auch in Ferkelproduktionsbetrieben, im Abferkelstall und im Stall für tragende Sauen zum Einsatz (BOXBERGER 1985). In der Bundesrepublik Deutschland werden etwa 30 bis 35% der Mastschweine mit Flüssigfutter versorgt (BOXBERGER 1985; SEIFFERT 1990). Der Anwendungsumfang gilt als steigend (SEIFFERT 1990). Vor allem in mittleren und größeren Beständen hat sich die Flüssigfütterung als Standardverfahren durchgesetzt (HEEGE und BECK 1986; BOXBERGER 1987, 1990; SCHWARZ 1989 a und b).

Als besondere Vorteile der Flüssigfütterung gelten unter anderem

- hohe Flexibilität in der Auswahl der Futtermittel
- gleichzeitige Verabreichung von trockenen, feuchten und flüssigen Futtermitteln
- einfache und preiswerte Erweiterungsmöglichkeiten der Anlage
- zentrale Futteraufbereitung und Dosierung
- problemloser Futtertransport bei mehreren Ställen und verwinkelten Förderachsen
- vergleichsweise günstiger Anschaffungspreis bei größeren Beständen

sowie hoher technischer Stand und bessere Automatisierungsmöglichkeiten als bei anderen Fütterungstechniken genannt (SOMMER und ZÄHRES 1987; KOWALEWSKY 1993 b; RATSCHOW 1993).

2.1.2 Aufbau von Flüssigfütterungsanlagen

Moderne Flüssigfütterungsanlagen verschiedener Hersteller unterscheiden sich in ihrem Aufbau und der technischen Ausstattung nur noch geringfügig (BOXBERGER 1987, 1990; NIEDERPRÜM 1991; SÖNTGERATH 1992, KOWALEWSKY 1993 b).

Zu den wichtigsten Baugruppen moderner Flüssigfütterungsanlagen zählen Wiegemischbehälter mit Rührwerk, Pumpe, Rohrleitung, Dosierventile und die Steuerelektronik (NIEDERPRÜM 1991; KOWALEWSKY 1993 b und RATSCHOW 1993). Wiegemischbehälter und Rührwerk dienen zum Anmischen und zum Dosieren, Pumpe und Rohrleitung zur Förderung des Futters in den Stall und die Ventile zur Dosierung in den Trog (RATSCHOW 1993). Der grundsätzliche Aufbau einer Flüssigfütterungsanlage ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

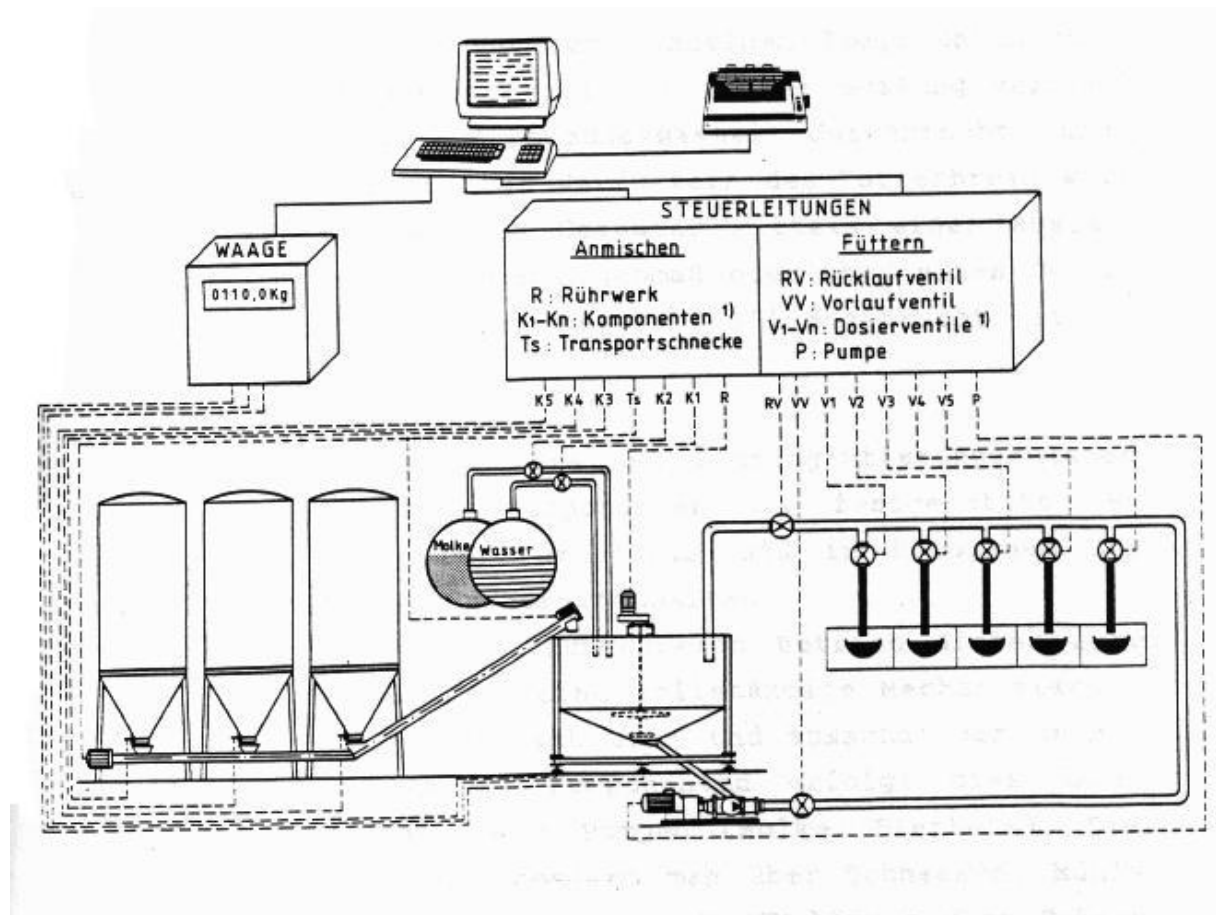


Abbildung 2.1: Aufbau einer Flüssigfütterungsanlage (SCHWARZ 1989 a)

2.1.3 Futterzuteilung

Bei Flüssigfütterungsanlagen werden verschiedene Verfahren bzw. Messtechniken zur Dosierung des Futters verwendet. Eine Übersicht über mögliche Dosierverfahren gibt Abbildung 2.2.

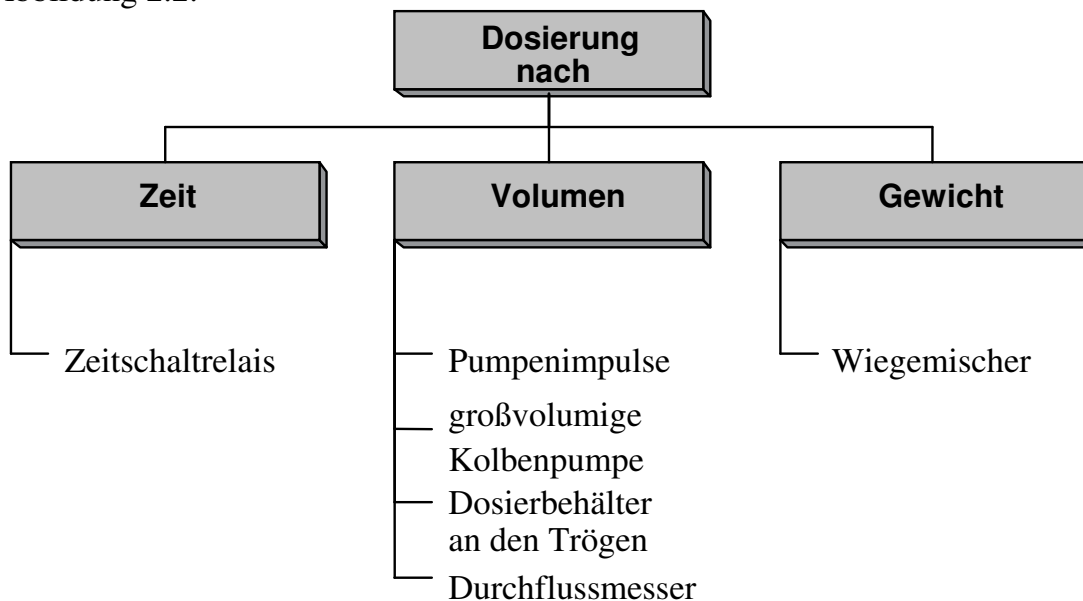


Abbildung 2.2: Dosiermöglichkeiten bei Flüssigfütterungsanlagen (BURGSTALLER 1991)

In der Praxis haben sich nachfolgende Verfahren der Flüssigfütterung durchgesetzt und manifestiert. Die meisten vollautomatischen Flüssigfütterungsanlagen dosieren sowohl die Einzelkomponenten als auch das Mischfutter nach Masse durch elektronische Rückverwiegung des Wiegemischbehälters. Zwar seltener, aber auch durchaus gebräuchlich, ist die Volumendosierung nach Signalen des dann zusätzlich erforderlichen induktiven Durchflussmessers (HEEGE und BECK 1986; RATSCHOW 1993). Das Prinzip der vollautomatischen Futterzuteilung beruht auf der Voraussetzung, dass sich die Dichte und damit die Gesamtmasse des im Rohrsystem befindlichen Flüssigfutters während des Zuteilvorgangs nicht verändert. Ist dies der Fall, dann entspricht die am geöffneten Ventil ausfließende Futtermasse der Massenabnahme im Wiegemischbehälter bzw. dem Futtervolumen, das den Durchflussmesser durchströmt (BECK 1986 b). Die Zuteilung des Futters wird vor allem durch fünf Einflussgrößen bestimmt: Messtechnik (Verwiegung des Behälters, Durchflussmessung), Pumpe, Rohrlänge, Ventile und Futtereigenschaften (BECK 1986 a).

2.1.4 Flüssigfütterung von Mastschweinen

Die Erzielung guter Mastleistungen bei gleichzeitiger optimaler Schlachtkörperzusammensetzung und günstiger Futtermittelverwertung erfordert eine exakte Nährstoffzufuhr (SOMMER und ZÄHRES 1987; KIRCHGEßNER et al. 2008). Die Sicherstellung einer bedarfsgerechten Nährstoffzufuhr ist wiederum nur möglich, wenn Kenntnisse über das Futteraufnahmevermögen der Tiere vorliegen (KIRCHGEßNER et al. 2008). Bei der Flüssigfütterung wird das Magenvolumen der Tiere weitestgehend ausgeschöpft und bestimmt als limitierender Faktor die Futteraufnahme pro Fresszeit (BURGSTALLER 1989).

Von folgenden Aufnahmemengen sollte bei der Flüssigfütterung ausgegangen werden: Tiere mit ca. 35 kg Gewicht können täglich etwa 6 Liter Flüssigfutter aufnehmen, in der Mastmitte etwa 10 Liter und gegen Mastende etwa 13 Liter. Diese Futtermassen müssen die bedarfsgerechten Nährstoffmengen enthalten. Aufgrund des limitierenden Magenvolumens ist eine Nährstoffkonzentration von mindestens 2,9 MJ ME je Liter Flüssigfutter erforderlich. Die Zuteilungsmasse je Bucht hängt von der Zahl der Tiere in der Bucht, der Fütterungshäufigkeit pro Tag und dem Energiegehalt des Flüssigfutters ab (BURGSTALLER 1989). Welche Futtermengen bei zweimaliger Fütterung pro Tag in Abhängigkeit vom Energiegehalt des Futters zugeteilt werden sollten, wird in Tabelle 2.1 angegeben.

Tabelle 2.1: Fließfuttermenge je Mahlzeit bei zweimaliger Fütterung in Abhängigkeit von der Lebendmasse der Schweine und dem Energiegehalt des Futters (nach BURGSTALLER 1989)

Mastwoche	Lebendmasse	Fließfutter je Mahlzeit in Liter/Schwein				
		3,00 MJ	3,15 MJ	3,30 MJ	3,45 MJ	3,60 MJ
	(kg)					
1.	40,0 - 43,5	3,7	3,5	3,3	3,1	3,0
2.	- 48,5	3,9	3,7	3,5	3,3	3,2
3.	- 53,5	4,2	3,9	3,7	3,6	3,4
4.	- 58,5	4,4	4,2	3,9	3,8	3,6
5.	- 63,5	4,7	4,4	4,2	4,0	3,8
6.	- 69,0	4,9	4,7	4,4	4,2	4,0
7.	- 74,0	5,2	4,9	4,7	4,4	4,2
8.	- 79,5	5,5	5,2	4,9	4,7	4,4
9.	- 85,0	5,7	5,4	5,1	4,8	4,6
10.	- 90,0	5,8	5,5	5,2	4,9	4,7
11.	- 95,0	5,9	5,6	5,3	5,1	4,8
12.	- 100,0	6,0	5,7	5,4	5,2	4,9

Wird das ausdosierte Futter von den Tieren nur zögernd gefressen, so kann das verschiedene Ursachen haben. Entweder ist die zugeteilte Masse zu groß oder das Futter ist verdorben oder schmeckt schlecht (BURGSTALLER 1989). Da die Qualität des Futters durch den Anmischvorgang bestimmt wird und der Zuteilvorgang die Futtermasse pro Tier festlegt, müssen diese beiden Vorgänge äußerst genau erfolgen, um eine bedarfsgerechte Tierernährung zu ermöglichen (BECK 1986 a). Auch andere Autoren betonen als vorrangiges Ziel der Flüssigfütterung das Erreichen einer dauerhaft hohen Anmisch- und Zuteilgenauigkeit hinsichtlich ausdosierter Futtermasse und Futterzusammensetzung bzw. Konzentration der Inhaltstoffe des ausdosierten Futterbreies (BOXBERGER et al. 1983; BOXBERGER 1987; SCHWARZ 1989 a).

2.2 Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen

Prinzipiell unterscheiden wir zwischen quantitativen und qualitativen Einflüssen auf die Dosiergenauigkeit. Die Definition und die allgemeinen Anforderungen zur Dosiergenauigkeit sowie die Ergebnisse aus Praxiserhebungen möchte ich im nachfolgenden Kapitel näher erläutern.

2.2.1 Quantitative Dosiergenauigkeit

2.2.1.1 Definition

Nach BECK (1989 b) versteht man unter dem Begriff „quantitative Dosiergenauigkeit“ einen Abmessungsvorgang, bei dem die ausdosierte Futtermenge mit der gewünschten Sollmenge verglichen wird. Bei der Dosierung des Futters muss davon ausgegangen werden, dass keine Anlage immer eine exakte Menge zuteilen kann. Die ausdosierten Mengen schwanken um einen Mittelwert (BOXBERGER et al. 1983). Die bei der Futterzuteilung auftretenden Abweichungen unterscheidet BECK (1986 b) in „gerichtete“ Abweichungen (systematische Mittelwertsverschiebung) und in „ungerichtete“ Abweichungen (zufällige Schwankungen). Diese Einteilung entspricht der in der chemisch-physikalischen Analytik üblichen Unterscheidung zwischen zufälligen und systematischen Messfehlern.

Soll die Dosiergenauigkeit aller Buchtenventile während der einzelnen Fütterungen untersucht werden, so sollte nach BECK (1986 b) die Abweichung *zwischen* den Buchten betrachtet werden. Aussagen über die Auswirkungen der Dosiergenauigkeit auf eine einzelne Tiergruppe bzw. Bucht liefert die Abweichung *innerhalb* der Buchten. Aus varianzanalytischer Sicht sind gerichtete Unterschiede zwischen den Buchten umso eher nachzuweisen, je höher die Dosiergenauigkeit ist.

2.2.1.2 Anforderungen an die quantitative Dosiergenauigkeit

Aussagen über die möglichen Grenzen von tolerierbaren Futterabweichungen basieren auf Untersuchungen mit Trockenfutter. PETERSEN (1981) zeigte, dass Mastschweine in verschiedenen Mastabschnitten Über- und Unterversorgungen innerhalb weniger Tage auszugleichen vermögen, sofern die gefütterte Gesamtmenge dem angestrebten Versorgungsniveau entspricht. Trotz täglicher Schwankungen bis zu maximal $\pm 25\%$ bzw. maximal ± 200 g konnten keine Einflüsse auf die Schlacht- und Mastleistung festgestellt werden. Daraus wurde gefolgert, dass die Dosiergenauigkeit relativ unwichtig sei, wenn keine gerichteten Abweichungen auftreten und die insgesamt verfütterte Futtermenge dem gewünschten Versorgungsniveau der Tiere entspricht. Da bei der Flüssigfütterung die Futtermischung aber auf die Ausschöpfung des Fassungsvermögens des Schweinemagens abgestimmt ist, besteht keine Möglichkeit, eine eventuelle Unterversorgung durch Überversorgung auszugleichen (BOXBERGER 1981 b, 1985). Obwohl eindeutige Versuchsaussagen fehlen, wird für die quantitative Dosiergenauigkeit als Zielgröße eine maximal zulässige Abweichung von $\pm 5\%$ des Sollwertes gefordert (BOXBERGER 1987).

Zur Darstellung der Zuteilgenauigkeit und zum Vergleich von Dosiergenauigkeiten unterschiedlicher Flüssigfütterungsanlagen werden in der Literatur als Maßzahlen Mittelwert und Standardabweichung bzw. der Variationskoeffizient (VK), der die Streuung (Standardabweichung) in Prozent des Mittelwerts angibt, verwendet (HEEGE und BECK 1986; BOXBERGER 1987; SCHWARZ 1989 a). Besonders die Angabe des VK-Wertes hat sich in neueren Arbeiten durchgesetzt (HEEGE und BECK 1986; SCHWARZ 1989 a, 1989 b). Aufgrund der Genauigkeitsforderung von BOXBERGER (1987) und der Empfehlung, die Abweichung als Variationskoeffizient anzugeben, fordert SCHWARZ (1989 a, 1989 b) als Zielgröße der quantitativen Dosiergenauigkeit einen VK-Wert von maximal 5% .

2.2.1.3 Quantitative Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen

SCHWARZ (1989 b) weist darauf hin, dass in früheren Untersuchungen zur quantitativen Dosiergenauigkeit noch verschiedene Dosiereinrichtungen berücksichtigt wurden, in neueren Arbeiten hingegen nur noch die bei den meisten Anlagen übliche Dosierung nach Masse oder Volumen überprüft wird.

Aufgrund langfristiger Erfahrungen geht BOXBERGER (1990) davon aus, dass besonders frühere Anlagen die hohen Anforderungen an die Dosiergenauigkeit nicht immer erfüllten. So untersuchten BOXBERGER et al. (1983) in elf verschiedenen Betrieben die Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen mit unterschiedlicher technischer Ausstattung für die Sollmassen 20, 40 und 60 kg. Acht der Anlagen dosierten nach

Volumen, zwei Anlagen nach Zeit und nur eine nach Gewicht. Die Untersuchungen brachten zum Vorschein, dass die Zuteilgenauigkeit vollautomatischer Flüssigfütterungsanlagen von „äußerst exakt“ bis zu „extrem ungenau“ reichte. Die durchschnittliche Abweichung vom Gesamtmittel aller Anlagen entsprach mit -4,7% der gestellten Anforderung von 5% . Die Streuung war aber erheblich, bei zwei Drittel der Anlagen wurden Abweichungen zwischen -24,1% und +14,7% festgestellt. Die maximalen Abweichungen lagen sogar in einem Bereich von -59,5% und +59,0%. So wurden bei einer Anlage, die nach Zeit dosiert, für die unterschiedlichen Sollmassen 20, 40 und 60 kg noch brauchbare Ergebnisse am 1. Ventil erzielt, mit zunehmender Leitungslänge kam es aber zu einer steigenden Unterdosierung. Die Maximalwerte betrugen mehr als 30%. An den hinteren Ventilpositionen waren die zufälligen Schwankungen sehr groß und lagen bei über 10%. Eine Anlage mit Durchflussmesser lieferte hingegen ein sehr gutes Ergebnis. Am 1. und am 15. Ventil lagen sogar die Maximalwerte verschiedener Messungen unter 5% Abweichung vom Sollwert. Selbst im fortgeschrittenen Verlauf der Dosierstrecke wurde die 5%-Grenze nicht überschritten. Bei einer baugleichen Anlage, die aber mit einer Monitoranzeige und handbetätigten Ventilen ausgestattet war, wurde ebenfalls ein sehr gutes Ergebnis mit Abweichungen von unter 5% erreicht. Es wird aber zu bedenken gegeben, dass bei der Untersuchung die Bedienungsperson wahrscheinlich mit besonderer Sorgfalt arbeitete und unter Alltagsbedingungen wohl mit größeren Fehlern gerechnet werden muss.

Zusammenfassend wurde von BOXBERGER et al. (1983) festgestellt, dass

- die Anlagen mit induktiver Durchflussmessung und Literanzeige am besten dosierten,
- die Anlagen mit mechanischen Durchflussmengenählern größere Streuungen aufwiesen als die Anlagen mit induktiver Durchflussmessung und Literanzeige,
- die Anlagen mit induktiver Durchflussmessung und Impulseinstellung zwar geringe Streuungen erreichten, aber große Abweichungen vom Mittelwert hatten,
- die Anlage mit Gewichtsdosierung um einen konstanten Faktor zuviel zuteilte,
- die Volumendosierung über eine Kolbenpumpe völlig unzureichende Ergebnisse lieferte,
- die geringste Dosiergenauigkeit bei der Dosierung nach Zeit erreicht wurde.

BECK (1986b) sowie HEEGE und BECK (1986) untersuchten in einer Versuchsreihe bei neun Flüssigfütterungsanlagen, die nach Masse oder Volumen dosierten, die quantitative Dosiergenauigkeit. An je sechs aufeinander folgenden Buchtenventilen wurden in dreifacher Wiederholung Sollmassen von 5, 10, 20, 30 und 40 kg mit den tatsächlich zuteilten Futtermassen verglichen.

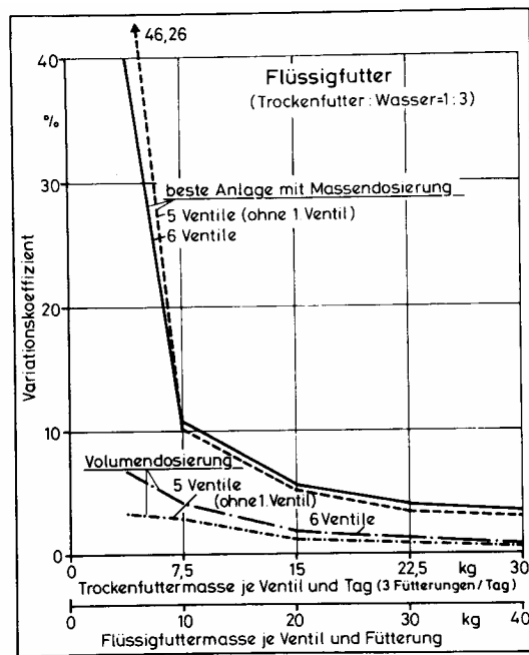


Abbildung 2.3: Zuteilgenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen bei Volumen- und Massendosierung (nach HEEGE und BECK 1986)

Dabei stellten sie zwischen den einzelnen untersuchten Anlagen deutliche Unterschiede fest (Abbildung 2.3). Die höchste quantitative Dosiergenauigkeit zeigte auch hier eine Anlage, die mit Hilfe eines Induktions-Durchflussmessers nach Volumen dosiert. Die VK-Werte entsprachen in etwa den von ihnen für stationäre Trockenfütterungsanlagen aufgeführten Werten. Die beste Anlage mit Massendosierung und Auswiegung des Wiegemischbehälters erreichte erst bei größeren Futtermassen VK-Werte unter 5%. Als Beispiel einer typischen Massendosierung wird aufgeführt, dass im Mittel der drei Wiederholungen am 1. Ventil zwischen 8,1 und 9,9 kg Futter zuviel zugeteilt wurde. An den folgenden Ventilen waren die Mittelwertdifferenzen aber nur noch leicht negativ und lagen maximal zwischen -1,4 kg und +0,6 kg. Die Volumendosierung charakterisierten HEEGE und BECK (1986) als Verfahren mit sehr kleinen Standardabweichungen und geringen gerichteten Abweichungen und wiesen darauf hin, dass diese mit zunehmender Sollmasse geringer werden (Abbildung 2.3). Sie gehen davon aus, dass die Volumendosierung mit einem induktiven Durchflussmesser ein sehr genaues Dosierverfahren ist, erwähnen aber gleichzeitig, dass gute Ergebnisse nur bei einer genauen Ermittlung der Futterdichte, inkompressiblem Futter (konstante Dichte) und einer genauen Einstellung der Messtechnik erzielt werden können. BECK (1986 b) geht davon aus, dass der Praktiker bei der Massendosierung mit größeren Schwankungen um die Sollmasse rechnen muss als bei einer optimal eingestellten induktiven Durchflussmessung. Die Untersuchung zeigte außerdem, dass im Mittel der untersuchten Anlagen der VK-Wert für die Unterschiede in der Zuteilung zwischen den Dosierungsvarianten deutlich mit steigender Futtermasse je Ventil abnimmt (BECK 1986 b;

HEEGE und BECK 1986). Außerdem war bei den überprüften Anlagen aufgrund der Futterkompression der Zuteilfehler am jeweils ersten Ventil sehr hoch. Trotz der stellenweise guten Einzelergebnisse konnte im Durchschnitt aller Anlagen die mit Trockenfütterungsanlagen erreichbare Zuteilgenauigkeit nicht erreicht werden. Bei den zum Vergleich aufgeführten stationären Trockenfütterungen wurden hinsichtlich der Futterabweichungen zwischen den Buchten in allen Fällen VK-Werte von unter 5% erreicht. Die Dosierung nach Volumen mit mehligem Futter lieferte dabei schlechtere Ergebnisse als die mit Pellets. Die besten Ergebnisse zeigte die Dosierung nach Masse (Abbildungen 2.3 und 2.4). Aufgrund der durchgeführten Untersuchung hält BECK (1989 b) es für möglich, dass Flüssigfütterungsanlagen den hohen Anforderungen einer guten Dosiergenauigkeit gerecht werden können, wenn alle Anlagenbaugruppen aufeinander abgestimmt werden und diese durch eine anpassungsfähige Ablaufsteuerung koordiniert werden.

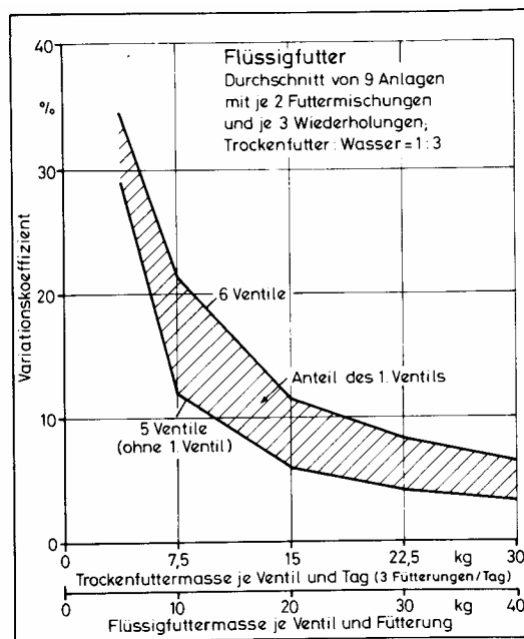


Abbildung 2.4: Variation der Futterzuteilung zwischen den Buchten bei der Schweinefütterung mit Trockenfütterungsanlagen (nach HEEGE und BECK 1986)

Auch SCHWARZ (1989 a, 1989 b) führte Untersuchungen zur quantitativen Dosiergenauigkeit durch und verwendete dazu eine Flüssigfütterungsanlage, die nach Masse durch Auswiegen des Wiegemischbehälters dosierte. Er stellte fest, dass Sollmassen von über 10 kg genau ausdosiert werden können bzw. VK-Werte von unter 5% erreicht werden. Bei einer Sollmasse von 5 kg war die Dosiergenauigkeit nicht ausreichend. Er konnte zeigen, dass sich unterschiedliche Förderaggregate auf die Dosiergenauigkeit auswirken und kam, wie auch BECK (1989 b), zu dem Schluss, dass Flüssigfütterungsanlagen moderner Bauart nach optimaler Einstellung äußerst genau dosieren. Auch

BOXBERGER (1990) geht davon aus, dass die bei älteren Flüssigfütterungsanlagen festgestellten Ungenauigkeiten bei modernen Anlagen auszuschließen sind, wenn sie sorgfältig bedient und gewartet werden. Bei den Untersuchungen zur quantitativen Dosiergenauigkeit wurde immer wieder deutlich, dass besonders die installierte Messtechnik die Dosiergenauigkeit stark bestimmt (BECK 1986 b; BOXBERGER 1987). HÜGLE (1993) ist der Meinung, dass die früher mit induktiven Durchflussmessern erreichten hohen Zuteilgenauigkeiten mittlerweile auch bei Dosierung nach Masse zu erzielen sind. Um einen Überblick über die Dosiergenauigkeit der betriebseigenen Anlage zu bekommen, wird dem Praktiker eine ständige Anlagenkontrolle hinsichtlich der quantitativen Dosiergenauigkeit dringend empfohlen (BOXBERGER 1985). Bereits beim Anlagenkauf sollte darauf geachtet werden, dass mindestens drei Stellen (Anfang, Mitte und Ende) vorhanden sind, an denen Futter zur Messung der Dosiergenauigkeit entnommen werden kann (BOXBERGER 1985).

2.2.2 Qualitative Dosiergenauigkeit

2.2.2.1 Definition

Der Begriff „qualitative Dosiergenauigkeit“ bezieht sich auf die Zusammensetzung des Flüssigfutters. Er bezeichnet einen Abmessungsvorgang, bei dem die Konzentration der Inhaltsstoffe des ausdosierten Flüssigfutters mit der Konzentration der Inhaltsstoffe der Ausgangsmasse im Wiegemischbehälter verglichen wird (DROCHNER et al. 1984; SCHWARZ 1989 a).

2.2.2.2 Anforderungen an die qualitative Dosiergenauigkeit

Zur Bewertung, ob die für Flüssigfutterproben ermittelten Gehalte an Inhaltsstoffen dem jeweiligen Sollgehalt entsprechen, wählten DROCHNER et al. (1984) als Latitüden die laut Futtermittelrecht geltenden Toleranzen. Diese Toleranzen umfassen Hersteller-Latitüden sowie Probenahme- und Analysenfehler (DROCHNER et al. 1984). Nach BASSLER et al. (1981, 1987) sind die nach den §§ 7 und 15 der Futtermittelverordnung geltenden Toleranzen nur auf die vom Hersteller angegebenen Gehalte an Inhaltsstoffen und an Energieangaben für Schweine- und Geflügelmischfutter anzuwenden. SCHWARZ (1989 a) verwendete in seiner Arbeit zur Bewertung der festgestellten Abweichungen die für Futtermitteluntersuchungen empfohlenen Analysenspielräume. Sie können unter anderem zur Überprüfung futtermittelrechtlich festgesetzter Gehalte (Grenzwerte) herangezogen werden (BASSLER et al. 1981, 1987).

Für gebräuchliche Futterrationen sollten die Abweichungen vom Sollwert der kleinsten Komponente nicht mehr als $\pm 5\%$ betragen (BOXBERGER 1981 a, 1985, 1987). Für Kleinstkomponenten, deren Anteil an der Gesamtmischung geringer als 3% ist, emp-

fielt BOXBERGER (1987) eine Eindosierung von Hand oder die Erstellung von Vormischungen.

2.2.2.3 Qualitative Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen

Über die qualitative Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen liegt noch weniger Untersuchungsmaterial vor als zur quantitativen Dosiergenauigkeit. Eine der wenigen Arbeiten zu diesem Thema ist die von DROCHNER et al. (1984). Aufgrund von Versuchsreihen in norddeutschen Praxisbetrieben wurden Erhebungen zur Mischqualität und Mischgenauigkeit von Flüssigfütterungssystemen erstellt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Mischgenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen zwar überwiegend den praktischen Anforderungen entspricht, aber nicht die Qualität von Trockenfuttermitteln erreicht. Besonders die Einstellung standardisierter Trockensubstanzgehalte an unterschiedlichen Entnahmestellen der Anlagen bereitete erhebliche Probleme. So überprüften DROCHNER et al. (1984) die Wiederholbarkeit von Flüssigfuttermischungen und zogen dazu bei jeweils drei Umläufen an einem Stallventil Futterproben. Gegenüber dem eingestellten Trockensubstanzgehalt konnten Abweichungen von 6 bis 8% (absolut) festgestellt werden. Es wurden Anreicherungen wie auch Verdünnungen registriert. Die auf Erfahrungen basierende Vermutung über Entmischungstendenzen in Form einer Anreicherung von Asche (Mineralien) im ersten Teil des abgepumpten Flüssigfutters konnte nicht eindeutig belegt werden. Es wurden beim ersten Umlauf Anreicherungen von Mineralstoffen, jedoch bei den folgenden Umläufen Verdünnungen nachgewiesen. In einem weiteren Versuchsabschnitt wurde der Einfluss der Entfernung der Entnahmestelle vom Mischer überprüft. Es konnte gezeigt werden, dass der Transportvorgang in der Leitung für die meisten Inhaltsstoffe hinsichtlich einer Entmischung nur wenig Bedeutung hat (Trockensubstanz, Rohasche, Rohfett). Dies war anders bei den Mineralien, für die teilweise im mischerfernen Bereich größere Variationskoeffizienten ermittelt wurden als im mischernahen Bereich. DROCHNER et al. (1984) bemerkten dabei, dass die Entmischungen für verschiedene Mineralien unterschiedliche Ausmaße hatten.

SCHWARZ (1989 a, 1989 b) untersuchte in einer Versuchsreihe bei einer Anlage, die nach Masse durch Auswiegen des Wiegemischbehälters dosiert, neben der quantitativen auch die qualitative Dosiergenauigkeit für das ausdosierte Futter. Zusammenfassend stellte er fest, dass bei der Dosierung des Rohproteins keine Entmischung auftrat und das Entmischungsverhalten von Rohasche (Mineralstoffen) sich innerhalb des erlaubten Analysefehlers des untersuchenden Labors bewegte. Für den Trockensubstanzgehalt konnte ebenfalls keine Entmischung festgestellt werden. BECK (1989) beurteilte bei Untersuchungen zur qualitativen Dosiergenauigkeit die Stabilität der Futtermischung mittels der Variationskoeffizienten der Trockensubstanz- und Aschegehalte

auf der Basis der Varianz zwischen den Ventilen einer Anlage. Dabei stellte er fest, dass der Trockensubstanzgehalt der Mischung mit einem durchschnittlichen Variationskoeffizienten von 1,63% relativ konstant war, der Rohaschegehalt in der Trockenmasse mit einem Variationskoeffizienten von 3,47% hingegen einer stärkeren Entmischung unterworfen war.

Eine Vorstellung über die Gehaltsschwankungen bei Trockenfuttermitteln (Mischfuttermitteln) gibt HENKEL (1991). Er berichtet, dass aufgrund langjähriger Aufzeichnungen für den Rohproteingehalt in Mischfuttermitteln, Variationskoeffizienten von ca. 4 bis 6% und für den Rohaschegehalt in der Trockenmasse Variationskoeffizienten von ca. 6 bis 11% vermutet werden.

2.3 Ursachen für Abweichungen der Dosiergenauigkeit

Die Qualität des Futters wird außer von mischtechnischen Faktoren, wie Größe der Mischcharge, Mischdauer und Mischintensität (Rührintensität) auch vom Anmischverhalten der einzelnen Futterkomponenten wie Teilchengröße, Benetzbarkeit, Sinkgeschwindigkeit im wässrigen Milieu, „Weichedauer“ oder Wasserlöslichkeit maßgeblich beeinflusst (DROCHNER 1987).

Im Einzelnen differenzierten DROCHNER et al. (1984) und DROCHNER (1987) die folgenden Einflussfaktoren auf die Dosier- bzw. Mischgenauigkeit des Futters in *quantitativer* (= Einhaltung der vorgegebenen Futtermengen) als auch in *qualitativer* Hinsicht (= Einhaltung der vorgegebenen Gehalte an Inhalts- und Zusatzstoffen):

- Mischtechnische Faktoren: unzureichende Mischzeiten, zu lange Standzeiten, unzureichende Verwirbelung, Wasseranteil nicht optimal (Viskositätsprobleme)
- Mängel an der Anlage: ungenügende Leistung des Rührwerkes, zu lange Förderwege, Niveau-Sprünge und starke Verwinkelungen im Leitungssystem, Sauberkeit der Leitungen (Fettmantel), zu geringe Pumpenleistung, große Druckunterschiede im System (Gasblasen als Resultat von CO₂-Produktion aus leicht vergärbaren Kohlenhydraten durch mikrobielle Aktivität von Hefen)
- Mängel der Rezeptur: Entmischungsneigung durch zu hohes spezifisches Gewicht, hydrophobe Eigenschaften, schlechte Teilchengrößenverteilung, unzureichende Teilchenzahl, zu große Dichteunterschiede in der Gesamtmischung, Unterschiede in der Siebfraktionenverteilung der eingesetzten Einzelfuttermittel, Differenzen in der Wasserlöslichkeit und Quellfähigkeit der Einzelkomponenten

Grundsätzlich können die von DROCHNER (1987) beschriebenen Rezepturmängel auch bei der Herstellung von Trockenfuttermitteln auftreten, die Gewichtung der Einfluss-

größen ändert sich jedoch durch den Zusatz des flüssigen Mediums. Chemische Eigenschaften wie die Bindungsform der Komponenten, Dissoziationsverhalten und Wasserlöslichkeit - besonders in Abhängigkeit vom pH-Wert - spielen bei der Herstellung von Trockenfuttermitteln nur eine untergeordnete Rolle, beeinflussen aber die qualitativen Eigenschaften flüssiger Futtermischungen in starkem Ausmaß. Physikalische Kenngrößen wie Dichte, Teilchenzahl, Korngrößenverteilung, Haftkräfte und Teilchenform haben bei der Mischung trockener als auch flüssiger Futtermittel eine große Bedeutung. Dagegen spielt das Benetzungsverhalten einzelner Komponenten bei Trockenfüttern keine, bei Flüssigfüttern dagegen eine große Rolle; Ähnliches gilt für die Sedimentationsanalyse.

In den folgenden Kapiteln werden die zuvor genannten Einflussfaktoren - differenziert nach eher mechanisch-technischen einerseits und durch Futterkomponenten bedingte Effekte andererseits - näher charakterisiert.

2.3.1 Mechanisch-technisch bedingte Ursachen einer ungenauen Futterzuteilung

HEEGE und BECK (1986) nennen als Hauptursache für quantitative Dosierfehler:

- ungenaue Wiegetechnik beim Ausdosieren des Futters
- aufgrund des Förderdrucks veränderte Futterdichte

Die genannten Ursachen werden wiederum durch verschiedene Teilfaktoren ausgelöst. So können beim Auswiegen des Flüssigfutters Messfehler entstehen, weil z.B. elektromechanische Wiegesysteme, auch als Hybridsysteme bezeichnet, Verwendung finden und diese im Gegensatz zu vollelektronischen Wiegesystemen Wiegesignale mit hohen Abweichungen zu den tatsächlichen Gewichten liefern. Unrund laufende Rührwerke können durch Schwingungen die Ermittlung der Behältermasse erschweren. Ferner verursachen zu lange Dosierpausen Druckstöße in der Futterleitung und dadurch eine Veränderung der Futterdichte.

Auch zu hohe Fördergeschwindigkeiten induzieren Druckstöße. Lange Standzeiten des Flüssigfutters führen zur Ansammlung von Gasblasen, die aus der mikrobiellen Fermentation leicht löslicher Kohlenhydrate stammen und das Futter komprimierbar machen. Durch falsch proportionierte Rührwerke und den freien Fall des Futters vom Rücklauf in den Wiegemischbehälter wird verstärkt Luft in das Futter eingemischt, wodurch die Komprimierbarkeit des Futters ebenfalls zunimmt (HEEGE und BECK 1986).

Ein weiterer wichtiger, aber bisher wenig beachteter Einflussfaktor ist die Fließgeschwindigkeit des Flüssigfutters (BECK 1986 b). Falls die Fließgeschwindigkeit des Flüssigfutters zu hoch ist, verbleibt dem Computer zu wenig Zeit zur exakten Steuerung der Ventile. Die Fließgeschwindigkeit ist bei vorgegebenem Innendruckmesser der Leitung unter anderem von Trockensubstanzgehalt, Vermahlungsgrad und physikalischen Eigenschaften, also der Viskosität des Futters, abhängig. Es muss davon ausgegangen werden, dass zähflüssigere, trockensubstanzreichere Mischungen meistens genauer zugeteilt werden als dünnflüssiges Futter (BECK 1986 b). BECK (1986 b) rechnet den genannten Faktoren unterschiedliche Bedeutung zu. Der Effekt des Wiegesystems hat nach seiner Meinung einen geringeren Einfluss als der Fehlerbeitrag der Förderung. Nach HÜGLE (1993) können auch Fehler in der Steuerungstechnik die Zuteilung negativ beeinflussen. Störungen können dazu führen, dass bestimmte Programmabschnitte übersprungen werden und an bestimmten Ventilen falsche oder gar keine Futtermassen zugeteilt werden.

2.3.1.1 Anmischvorgang

Wie schon erwähnt, wird die Qualität des Futters primär durch den Anmischvorgang bestimmt (BECK 1986 a). Im weiteren Ablauf der Fütterung ist sie hauptsächlich von der Homogenität des Bottich- und Rohrinhalts vor der Zuteilung abhängig (BECK 1986 a). Der Anmischvorgang wird von vier wesentlichen Einflussfaktoren bestimmt. Hierzu zählen Behälter, Rührwerk, Futterkomponenten und die Messtechnik der Verwiegung (BECK 1986 a). Um eine bestimmte Qualität des Futters bzw. einen korrekten Anmischvorgang zu gewähren, muss nach BECK (1989 b) in allen Fällen auf die Einhaltung der Komponentenanteile bei der Einnahme geachtet werden und das Futter durch eine angepasste Mischtechnik und -dauer ausreichend homogenisiert werden. Besonders für die Phasenfütterung ist als Grundvoraussetzung eine exakte Eindosierung nach Masse und Inhaltsstoffen nötig (SCHWARZ und KLEMENT 1993).

2.3.1.2 Wiegesystem

(BECK 1986 a) nennt als Grundvoraussetzung für einen präzisen Anmischvorgang und die korrekte Einnahme der Futterkomponenten das Vorhandensein eines genauen Wiegesystems. Dieses muss dem Anmischcomputer exakte und richtige Signale liefern. Ebenso wie bei der Futterzuteilung können hier Abweichungen durch die Verwendung unterschiedlicher Wiegesysteme oder durch schlagende Rührwerke verursacht werden. Als Beispiel nennt BECK (1986 a) bei einer Anlage Schwankungen der Waagenanzeige von ± 4 kg durch ein schlagendes Rührwerk. Dünnflüssige Mischungen führen eher zu Signalschwankungen als dickflüssige (BECK 1986 a).

Die Einnahme der einzelnen Futterkomponenten kann durch einen inkorrekten Abruf als Folge zu langer Nachlaufzeiten der Zuführaggregate (Pumpen und Schnecken) nachteilig verändert werden. Als weitere Ursache für Qualitätsfehler nennt BECK (1986 a) eine ungenügende Mischwirkung der Rührwerke. Auch SCHWARZ und KLEMENT (1993) setzt für eine exakte Eindosierung nach Masse und Inhaltsstoffen voraus, dass Anmischbehälter und Rührwerk optimiert sind und Schwingungen des Wiegemischbehälters sowie Lufteinmischungen vermieden werden.

2.3.2 Einfluss von Futterkomponenten und -zusammensetzung

Wie andere Mischungen aus festen und flüssigen Komponenten ist auch Flüssigfutter in der Regel nicht stabil und entmischt sich wieder. Futterbestandteile mit einer geringeren Dichte als Wasser, beispielsweise Spelzen, Schalen und Fette, schwimmen dabei auf, während die schwereren Komponenten (vor allem mineralische Bestandteile) mehr oder weniger schnell nach unten sinken. Ein anderer Teil der Komponenten bleibt dagegen homogen mit Wasser vermischt, weil sich stabile Systeme wie Dispersionen und Emulsionen gebildet haben oder weil die Komponenten selbst gut wasserlöslich sind (ALBERS 1989).

Um Flüssigfuttermischungen hinsichtlich ihrer Homogenität bzw. ihrer Entmischungsneigung beurteilen zu können, führen ALBERS (1989) und DROCHNER (1987) die folgenden Einflussfaktoren auf:

- ***Trockensubstanzgehalt der Futtermischung***

Je höher der Trockensubstanzgehalt der Futtermischung, umso stabiler bleibt die Mischung. Um Mischbarkeit und Fließfähigkeit nicht einzuschränken, sollte der Futterbrei jedoch nicht mehr als 30% Trockenmasse enthalten. Dieser Grenzwert wird etwa bei einem Wasser-Futter-Verhältnis von 2,5 : 1 erreicht

- ***Vermahlungsgrad der Futtermittel***

Der Vermahlungsgrad spielt besonders beim Einsatz von Corn-Cob-Mix in Flüssigfuttern eine Rolle, da größere Spindelstücke zu Entmischungen führen

- ***Anteil an quellbaren Stoffen, Quellbarkeit***

Ein hoher Anteil an quellfähigen Komponenten fördert die Mischungsstabilität, da diese Partikel ein schnelles Absinken gröberer und schwererer Bestandteile verhindern

- ***Emulgier- und Dispergierbarkeit*** sind die entscheidenden Faktoren, die auf das Mischungsverhalten von Proteinen und Fetten einwirken

- ***Wasserlöslichkeit, Teilchengröße, Korngrößenspektrum und spezifisches Gewicht*** beeinflussen vor allem die Mischungseigenschaften der mineralischen Komponente

In manchen Fällen ist es überhaupt nicht möglich, aus den einzelnen Futterkomponenten eine homogene Mischung herzustellen (ALBERS 1989). BOXBERGER (1987) weist darauf hin, dass das bereits gemischte Futter nach dem Abschalten des Rührwerks zur sofortigen Entmischung neigt. Es wird daher gefordert, Anlagen so zu konzipieren, dass Rührwerke während des Dosiervorganges eingeschaltet sind (BOXBERGER 1985, 1987). Damit das laufende Rührwerk nicht den Dosiervorgang bzw. die Waagensignale verfälscht, rät BECK (1986 b, 1989 b), beim Dosiervorgang eine geringere Rührgeschwindigkeit zu fahren als beim Anmischen.

Diese Empfehlungen zeigen, dass von Seiten der Fütterungstechnik durchaus Möglichkeiten bestehen, die Dosierqualität des Futters in ernährungsphysiologischer Hinsicht positiv zu beeinflussen.

Bestimmte Nährstoffgruppen zeigen eine besondere Disposition zur Entmischung. DROCHNER et al. (1984) zählen hierzu die Fraktionen Rohasche, Rohprotein und Rohfett. Für die Rohasche spielt ihrer Meinung nach offensichtlich die Wasserlöslichkeit und Suspendierfähigkeit der verwendeten Komponenten eine besondere Rolle. Bei der Rohproteinfraktion scheinen die Quellfähigkeit und die Korngrößenverteilung eine besondere Bedeutung zu haben. Beim Rohfett sind Emulgierung und Schmelzpunkt des Fettes ausschlaggebend. Auch SCHWARZ (1989 a) und BECK (1989 a) weisen daraufhin, dass die Fraktion Rohasche als kritisch gilt.

Rohasche

Neben der Wasserlöslichkeit nimmt das spezifische Gewicht eine entscheidende Rolle bei der Entmischung der Mineralstoffe ein.

Rohprotein

Für die gleichmäßige Verteilung in einer Mischung und das Entmischungsverhalten sind Quellfähigkeit und Korngrößenverteilung der als Proteinträger eingesetzten Komponenten besonders wichtig. Auch praxisübliche proteinreiche Rationen können dabei die Grenzen der Suspendierfähigkeit erreichen (DROCHNER et al. 1984).

Rohfett

Fette und Wachse sind aufgrund ihrer chemischen Struktur hydrophob. Anders als bei leicht benetzbaren Futterkomponenten, die Wasser aufsaugen und dadurch ihrer Dichte der des Wassers anpassen können, ändert sich ihre Dichte auch bei längeren Standzei-

ten nicht. Eine Annäherung an die Dichte des Lösungsmittels Wasser ist demzufolge auch nicht zu erwarten (DROCHNER 1987).

Reine Fette und Öle können zur Herstellung von Flüssigfuttermitteln nicht verwendet werden, da sie im Futterbrei aufrahmen würden (ALBERS 1989). Dieser Effekt kann durch die Bindung an organische Träger verhindert werden (ALBERS 1989).

In der Praxis kommen vorwiegend Öle zum Einsatz, da sie bei Raumtemperatur flüssig sind und anders als tierische Fette nicht erst erwärmt und verflüssigt werden müssen (ALBERS 1989). Fette mit niedrigem Schmelzpunkt können in Mischbottichen und Rohrleitungen erstarren und eine Entmischung des Futterbreies verursachen (DROCHNER et. al. 1984). Begleitsubstanzen, wie das in roh entschleimtem Sojaöl noch teilweise enthaltene Lecithin, wirken als Emulgator und verbessern so die Emulgierung von Fettkomponenten im Flüssigfutter (ALBERS 1989).

Rohfaser

Rohfaserreiche Futterbestandteile wie Spelzen und Schalen flotieren durch ihre geringe Dichte, die niedriger liegt als die des Wassers (DROCHNER et al. 1984). Ligninreiche Komponenten sind, den Fetten vergleichbar, ebenfalls schlecht zu benetzen und hydrophob (DROCHNER 1987)

Vitamine und andere Zusatzstoffe

Je nach Wasserlöslichkeit und Art der Bindung an andere Substanzen unterliegen auch Vitamine und andere Zusatzstoffe den Entmischungsvorgängen (ALBERS 1989).

2.4 Probenahme aus flüssigen Medien

2.4.1 Rechtliche Grundlagen

Die Probenahme aus flüssigen oder halbflüssigen Stoffen, zu denen Flüssigfuttermittel zu zählen sind, wird in der „Verordnung über Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Futtermittelüberwachung („Futtermittel-Probenahme- und –Analyseverordnung“ vom 21. März 1978 in der Fassung der 3. Änderungsverordnung vom 18. Oktober 1984) gesetzlich geregelt. Im folgenden Abschnitt sind diejenigen Paragraphen der Verordnung kurz aufgeführt, die - unabhängig von den gesetzlichen Regelungen, die für alle Futtermittel, Zusatzstoffe und Vormischungen ohne weitere

Differenzierung nach ihrer Beschaffenheit generell gelten - für die Probenahme aus Flüssigfuttermitteln von besonderer Bedeutung sind.

§ 3 regelt die Verwendung der **Probenahmegeräte**, die aus einem Material bestehen müssen, das die für die Probenahme bestimmten Stoffe nicht beeinflusst (Absatz 1). Für die Entnahme von Einzelproben aus flüssigen oder halbflüssigen Stoffen sollen Stechheber oder Schöpfheber mit Verschlusseinrichtung benutzt werden (Absatz 2,4). Um reduzierte Sammelproben und Endproben herzustellen, können Probeteiler zum Einsatz kommen (Absatz 3).

Die Mindestzahl an **Einzelproben** aus verschiedenen Partien wird in § 5 festgelegt. Abhängig von Größe und Anzahl der Behältnisse, sind nach Absatz 1 aus flüssigen und halbflüssigen Stoffen

- je Behälter vier Einzelproben zu ziehen, wenn dessen Inhalt 1 L nicht überschreitet
- bei Behältnissen mit mehr als 1 L Inhalt alle Behältnissen zu beproben, wenn die Partie aus maximal vier Behältnissen gebildet wird. Besteht die Partie aus 5 bis 16 Behältnissen, sind vier Einzelproben zu ziehen. Bei mehr als 16 Behältnissen ergibt sich die Anzahl der Einzelproben aus der Quadratwurzel der Anzahl der Behältnisse, die auf ganze Zahlen aufgerundet wird und höchstens 20 betragen darf.

Aus den Einzelproben sind, wie in § 6 aufgeführt, **Sammelproben** herzustellen. Deren Mindestmenge umfasst nach Absatz 2 bei flüssigen und halbflüssigen Futtermitteln

- den Inhalt von 4 Behältnissen, wenn der Behälter-Inhalt kleiner ist als 1 L
- insgesamt 4 L, wenn die Einzelproben aus Behältnissen mit mehr als 1 L Inhalt gezogen werden.

§ 7 regelt die Herstellung von **Endproben**. Aus jeder Sammelprobe sind - falls erforderlich, nach Bildung einer reduzierten Sammelprobe - mindestens drei Endproben zu bilden (Absatz 1), deren Mindestmenge bei flüssigen und halbflüssigen Futtermitteln jeweils 500 mL betragen muss (Absatz 2).

§ 8 schreibt Einzelheiten zur **Entnahme und Bildung der Proben** fest. Die Proben sind demzufolge so zu entnehmen und zu bilden, dass sie gegenüber der Partie nicht verändert oder verunreinigt werden. Die verwendeten Geräte, Arbeitsflächen und Behältnisse müssen sauber und trocken sein (Absatz 1).

Bei flüssigen oder halbflüssigen Stoffen, die gleichmäßig vermischt oder mischbar sind, ist aus jeder für die Probenahme bestimmten Packung oder jedem für die Probenahme bestimmten Behälter eine Einzelprobe zu entnehmen; wenn erforderlich, nach

gleichmäßiger Vermischung. Die Einzelproben können auch aus einer fließenden Partie entnommen werden (Absatz 2,3).

Bei flüssigen oder halbflüssigen Stoffen, die *nicht* gleichmäßig vermischbar sind, hat die Probenahme in verschiedenen Höhen aus den zur Beprobung vorgesehenen Behältnissen zu erfolgen. Auch hier ist die Entnahme der Einzelproben aus einer fließenden Partie grundsätzlich möglich, aus den ersten durchlaufenden Teilmengen sollen jedoch keine Einzelproben entnommen werden. Das Volumen der Sammelproben muss bei diesen Stoffen mindestens 10 L betragen (Absatz 2,4).

Die Sammelprobe ist zu mischen, bis sie gleichmäßig ist. Sollten Klumpen auftreten, sind diese getrennt vom übrigen Material zu mischen und anschließend wieder unterzumischen. Falls notwendig, kann die Sammelprobe mit einem mechanischen Probeteiler oder nach dem Vierteilungsverfahren bis auf 2 L reduziert werden (Absatz 2,5).

2.5 Moderne Fütterungsmethoden in der Flüssigfütterung

Schon seit längerem ist bekannt, dass sich die Protein- und Fettsynthese und somit der Nährstoffbedarf der Mastschweine während der Mast, unter anderem in Abhängigkeit vom Alter und der Lebendmasse, verändern (KIRCHGESSNER et al. 2008). Aus diesem Grund werden von Wissenschaftlern für die Schweinemast mindestens zwei im Nährstoffgehalt abgestufte Futtermittel empfohlen. Bisher wurde aber in vielen Schweinemastbetrieben während der Mastperiode von 25 bis 105 kg hauptsächlich nur ein Universalfutter angeboten (RATSCHOW 1992, 1993; SPIEKERS 1993 b). Bei dieser Fütterungsmethode blieb eine nährstoffoptimierte Anpassung an den jeweiligen Stickstoff- und Phosphorbedarf der Tiere vorenthalten und führte in den meisten Fällen unweigerlich zu Nährstoffverlusten (RATSCHOW 1992). Aus verschiedenen Gründen (Umwelt, Wirtschaftlichkeit, Tiergesundheit) wird aber immer mehr zu einer „Phasenfütterung“ übergegangen (SPIEKERS 1993 b). Besonders hinsichtlich des Umweltschutzes muss davon ausgegangen werden, dass „in der Schweinemast die konsequente Anwendung der Phasenfütterung das wirksamste Mittel sein dürfte, um ohne Steigerung der Futterkosten eine nennenswerte Reduktion der Nährstoffmengen in der Gülle zu erreichen“ (PFEFFER 1992).

Das Grundprinzip der Phasenfütterung ist, dass sich mit zunehmendem Alter der Tiere die erforderlichen Nährstoffgehalte im Futter phasenweise ändern (SPIEKERS 1993 b). Um dies zu ermöglichen, sind genaue Kenntnisse über den Bedarf an essentiellen Nährstoffen erforderlich (SPIEKERS 1993 a; PFEFFER 1992). Wird „phasenweise“ gefüttert, dann sollte darauf geachtet werden, dass die einzelnen Mastabschnitte in etwa

gleich lang sind. Zur Wahl von Mastabschnitten bei einer Mast von 30 bis 110 kg Lebendmasse gibt SPIEKERS (1993 b) die folgenden Beispiele an:

- zweiphasig: 30 bis 70 kg; 70 bis 110 kg
- dreiphasig: 30 bis 55 kg; 55 bis 80 kg; 80 bis 110 kg
- vierphasig: 30 bis 50 kg; 50 bis 70 kg; 70 bis 90 kg; 90 bis 110 kg

SPIEKERS (1993 und b) ist der Meinung, dass sich die größten Einsparungen im Nährstoffaufwand ergeben, wenn von der ein- auf die zweiphasige Mast gewechselt wird. In der Praxis wird sich wahrscheinlich eine dreiphasige Mast mit den Gewichtsabschnitten von 30 bis 45 kg (Vormast), 45 bis 70 kg (Mittelmast) und von 70 bis 105 kg (Endmast) als angebracht herausstellen (RATSCHOW 1992). Wird die Phasenfütterung konsequent durchgeführt, so kann beispielsweise eine Reduzierung der N-Ausscheidungen um ca. 25 bis 30% erreicht werden (BOHNENKEMPER 1993 a, 1993 b; KOWALEWSKY 1993 a; PFEFFER 1992).

2.5.1 Fütterungstechnik in der Phasenfütterung

Für die nährstoffangepasste Fütterung (Phasenfütterung) stehen bei flüssiger Fütterung verschiedene technische Konzepte zur Verfügung. Kompliziert gestaltet sich die Phasenfütterung in kontinuierlich mästenden Betrieben. Bei dieser Mastmethode müssen im Gegensatz zur Mast nach dem „Rein-Raus-Verfahren“ verschiedene Futtermischungen in einem Stallabteil verfüttert werden (KOWALEWSKY 1993 a; RATSCHOW 1992, 1993; SCHWARZ und KLEMENT 1993). Einerseits können verschiedene Mischungen durch Trennkörper in Form von Molke oder Wasser gezielt verfüttert werden (Restlosfütterung) oder andererseits mit einer eiweißreichen Charge gefüttert und anschließend je nach Bedarf mit eiweißarmen Energieträgern verdünnt werden (Aufmischverfahren). Bei der Mast in Form des „Rein-Raus-Verfahrens“ gestaltet sich die Phasenfütterung einfacher, da in einer Stallabteilung lediglich nur eine Mischung ausdosiert werden muss. Die Fütterung kann daher nur mit Hilfe von Trennkörpern oder über Abteiltringleitungen erfolgen (GERS-GRAPPERHAUS 1992; KOWALEWSKY 1993 a; NIEDERPRÜM 1991; RATSCHOW 1992, 1993; SCHWARZ 1993 b). Aufgrund der unterschiedlichen Fütterungskonzepte werden in der Praxis verschiedene Anlagentypen verwendet. Zwischen den folgenden Anlagen Ausführungen kann unterschieden werden (KOWALEWSKY 1993 a):

- Flüssigfütterungsanlagen, die mit zwei kompletten Anmisch- und Rohrleitungssystemen ausgestattet sind
- Flüssigfütterungsanlagen zum Anreichern einer Basismischung und zum Ausfüttern über ein Rohrleitungssystem

- Flüssigfütterungsanlagen, bei denen das Futter für jede Altersgruppe nacheinander angemischt und über ein Rohrleitungssystem verteilt wird
- Flüssigfütterungsanlagen mit zwei Anmischsystemen und zusätzlicher Mischeinrichtung zur gezielten Einspeisung in ein Rohrsystem

2.6 Hygienische Aspekte der Flüssigfütterung

Die Mischbehälter bestehen heute in der Regel aus Edelstahl. Umfangreiche Spüleinrichtungen sorgen für saubere Behälter. Die Futterrohre werden je nach Anlage mit Wasser unter Zusatz bestimmter unbedenklicher Säuren gespült. Es kommt auch ein Wasser-Pressluft-Gemisch zum Einsatz. Eine Alternative hierzu bietet die Restlosfütterung. Das Rohrsystem steht während der Ruhezeit voll Wasser. Zum Fütterungsbeginn wird das Wasser mittels Futter aus dem Rohr gedrückt und in einem Behälter aufgefangen. Am Ende der Fütterung wird der Futterinhalt des Rohres mittels Wasser zu den letzten Trögen gepumpt.

Noch eleganter ist die Lösung mit einem Trennkörpersystem. Bei diesem System wird das Futter mittels Trennkörper, die bei Bedarf automatisch in das Rohrsystem eingeschleust werden, getrennt. Somit besteht die Möglichkeit, verschiedene Fütterungen zu füttern und das Futterrohr mittels Nachdrücken von Wasser oder Pressluft mit Hilfe eines Trennkörpers vollkommen von Futter zu entleeren. HOY (2005) sieht in der mangelnden Hygiene von Flüssigfütterungsanlagen die Hauptursache für die signifikant schlechteren Leistungen bei Flüssigfütterung im Vergleich zu Brei- oder Trockenfutter in einer anonymen Untersuchung aus dem Jahr 2000.

3 Material und Methoden

3.1 Beschreibung der Flüssigfütterungsanlagen

Für die praktischen Versuche standen zwei handelsübliche Flüssigfütterungsanlagen zur Verfügung, die am Institut für Landtechnik in der dortigen Maschinenhalle aufgebaut wurden. An das installierte Rohrleitungssystem konnten wahlweise die jeweiligen Wäge-Mischbehälter mit dem dazugehörigen Steuerungssystem angeschlossen werden. Die gesamte Anlage war für 500 Mastschweine ausgelegt und in Kammaufstallung aufgebaut.

3.1.1 Wäge-Mischbehälter

Der Wäge-Mischbehälter stellt das Kernstück der Flüssigfütterungsanlage dar. Die Funktionsbereiche gliedern sich in Wägen und Homogenisieren. Dies geschieht sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausdosierung. Die Eindosierung wurde in allen Versuchen von Hand vorgenommen.

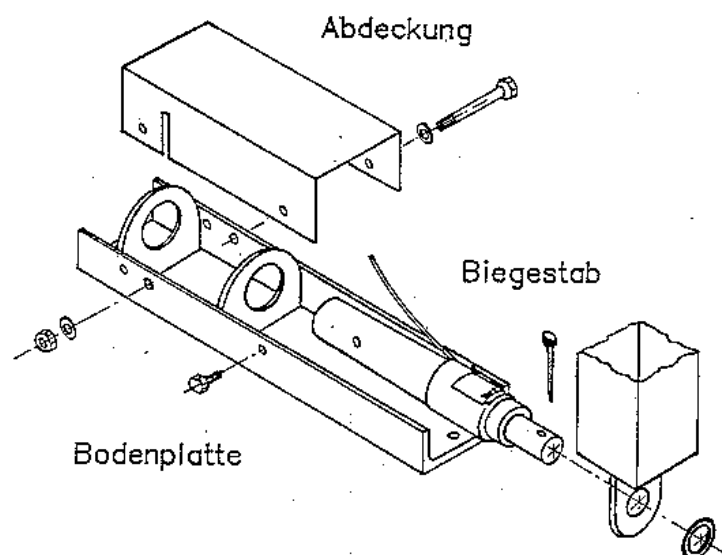


Abbildung 3.1: Aufbau eines Biegestabes für die Mischbehälterwiegun

Der Wäge-Mischbehälter ist auf drei Biegestäben (siehe Abbildung 3.1) gelagert, auf denen Dehnungsmessstreifen angebracht sind. Das damit ermittelte Biegemoment wird analog erfasst und in ein digitales Signal umgewandelt. In beiden zur Verfügung stehenden Behältern konnten wahlweise Biegestäbe von 100 bzw. 1000 g Auflösung ein-

gesetzt werden. Durch diese Modifikation der Anlagen war eine Verbesserung der quantitativen Dosiergenauigkeit bei geringen Futtermengen ($< 10\text{ kg}$) zu erwarten.

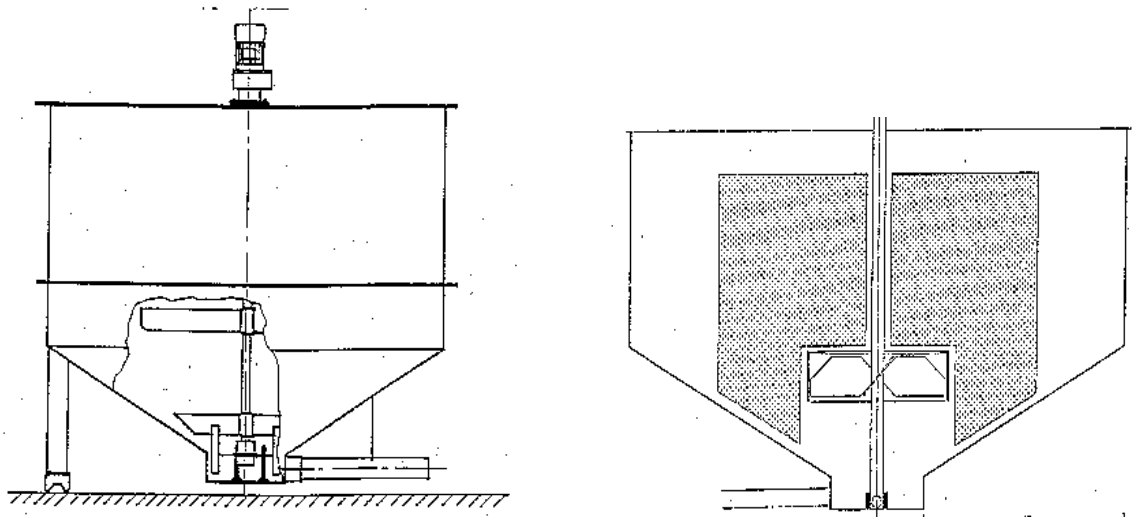


Abbildung 3.2: Wäge-Mischbehälter in unterschiedlicher Ausführung in Anlage A

Die zwei im Versuch eingesetzten runden GFK-Behälter (siehe Abbildungen 3.2 und 3.3) sind stehend aufgestellt und haben ein Fassungsvermögen von ca. 1500 L, wobei der Behälter von Anlage B in einer geschlossenen Form ausgeführt ist. Ein trichterförmiger Behälterboden bzw. eine Vertiefung im Bodenbereich ermöglicht eine fast restlose Entleerung der Wäge-Mischbehälter.

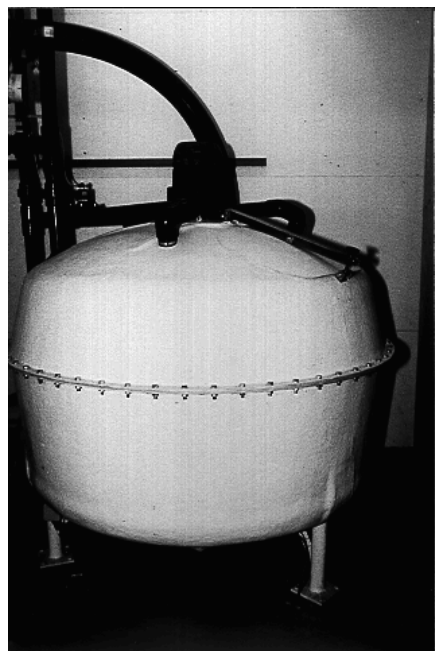


Abbildung 3.3: Geschlossener Wäge-Mischbehälter (Anlage B)

3.1.2 Rührwerke und Pumpen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Mischqualität übt neben der Behälterform das verwendete Rührwerk aus. In Anlage A stehen zwei verschiedene Rührwerke zur Verfügung. Beim Kreuzbalkenrührwerk sind auf der mittig angebrachten Rührwelle zwei Rührflügel fixiert (siehe Abbildung 3.4). Um bei unterschiedlichen Füllständen und ganz besonders beim Ausdosieren, welches am tiefsten Punkt des Behälters erfolgt, eine optimale Homogenisierungswirkung zu erzielen, arbeitet der kleinere Flügel, der einen Durchmesser von ca. 56 cm aufweist und mit zwei Krallen versehen ist, direkt im Bereich des Behälterbodens. Diese Tatsache ist besonders wichtig für die qualitative Dosiergenauigkeit der Flüssigfütterungsanlage. Der größere Flügel mit einem Durchmesser von 108 cm ist dagegen 54 cm vom Lagerpunkt der Rührwelle nach oben versetzt montiert. Sinkt der Pegelstand unter die Unterkante dieses Rührflügels, ist dieser wirkungslos.

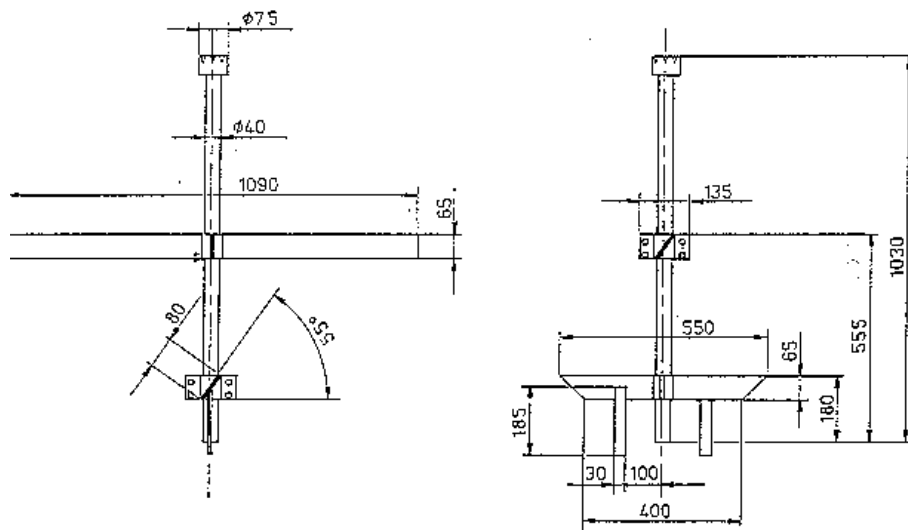


Abbildung 3.4: Kreuzbalkenrührwerk

Für weitere Versuche stand neben dem beschriebenen Kreuzbalkenrührwerk ein Propellerkranzrührwerk zur Verfügung (siehe Abbildung 3.5). Der Rührwerkskörper besteht aus einem runden, 3 cm breiten Außenring mit 47 cm Durchmesser. Innerhalb dieses Ringes befinden sich vier kleinere Rührwerksflügel, die mit dem Ring und der Aufsteckmuffe fest verschweißt sind. Die Aufsteckmuffe ermöglicht ein problemloses Auswechseln und Installieren des Rührelementes in unterschiedlicher Höhe an der Rührwerkswelle. Die Funktionsart dieses Rührwerktypes ist folgendermaßen zu beschreiben:

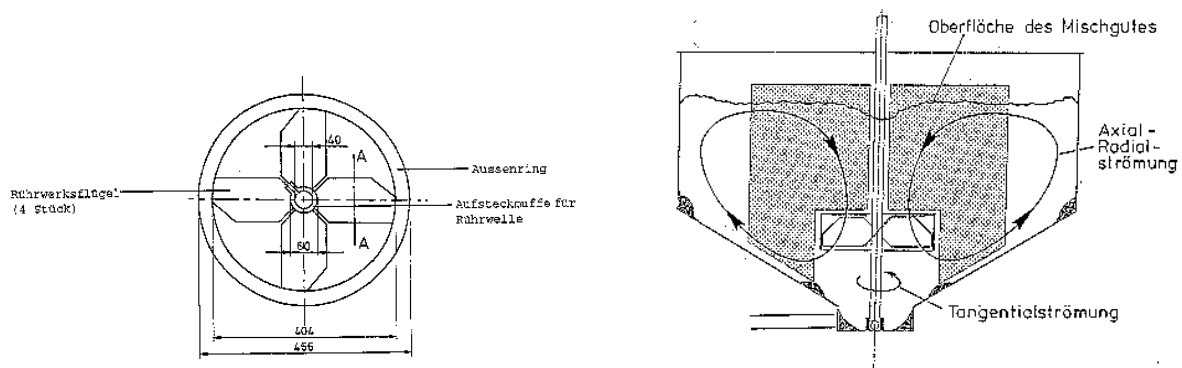


Abbildung 3.5: Propellerkranzrührwerk (incl. Schwallleisten) mit den Strömungsverhältnissen im Wäge-Mischbehälter (Anlage A)

Die Rührwerksflügel sind so angebracht, dass das Flüssigfutter im Anmischbehälter in einer Axial-Radial-Strömung vom oberen Pegelstand des Futters in Richtung Behälterboden befördert wird. Durch den äußeren Ring verstärkt, entsteht ein starker Sog. Aufgrund dieses Soges wird der Futterstrom mit ausgeprägtem Druck gegen den Behälterboden gepresst, das Futter dort aufgewirbelt und an den Außenwänden des Mischbehälters wieder nach oben befördert. Um eine Thrombenbildung, d.h. ein Aufsteigen des Futters an der Behälterwand und die Gefahr der Inkorporation von Luft in das Flüssigfutter zu vermindern, sind Schwallleisten als Wellenbrecher im Mischbehälter installiert (Abbildung 3.5). Die Eigenschwingung des Behälters und damit der Einfluss auf das Wiegesignal sind beim Einsatz eines solchen Rührwerkstyps stark vermindert.

Im Gegensatz zu den mit niedriger Drehzahl arbeitenden Rührwerken in Anlage A (Kreuzbalkenrührer – 76 U/min, Propellerkranzrührer 170 U/min) wird das Propellerkranzrührwerk in Anlage B mit 1400 U/min betrieben. Diese hohe Umlaufgeschwindigkeit bedingt den Einsatz eines geschlossenen Behälters. Die Homogenisierung des Futters wird durch zwei in unterschiedlicher Höhe auf der Rührwelle angebrachten Mischelemente vorgenommen (siehe Abbildung 3.6). Das obere Element, ein Propellerrührer, befindet sich in einer Höhe von ca. 30 cm auf der mittig angebrachten Rührwelle. Im unteren Bereich arbeitet ein zweites Rührelement mit einem Abstand von ca. 10 cm zum tiefsten Punkt des Behälters als Radial-Umlenker. Folglich findet bei geringem Füllstand im Mischbehälter eine starke Lufteinmischung in das Flüssigfutter statt, was die Pumpfähigkeit und die Dosiergenauigkeit stark beeinflussen kann.

Ein Bypass, der aufgrund der dann höheren Förderleistung der Pumpe zu einer besseren Durchmischung des Flüssigfutters beim Anmischen führt und eine Umgehung der installierten Verstelldrossel ermöglicht, steht während des Ausdosiervorganges in beiden Anlagen zur Verfügung. Ein zwei- bis dreiminütiges Umpumpen bei geöffnetem Endventil verbessert die Homogenität der Futtermischung vor dem Ausdosiervorgang.

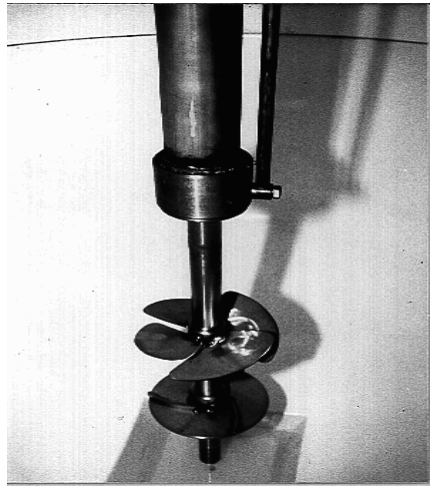


Abbildung 3.6: Rührwerk in Anlage B

Sowohl für Anlage A als auch für Anlage B standen handelsübliche Kreiselpumpen (siehe Abbildung 3.7) mit einer der Leitungslänge angemessenen Leistung von 4 bzw. 5,5 kW zur Verfügung. Die Pumpen fördern angemischtes Futter in das Rohrleitungssystem. Aufgrund ihrer stark gegendruckabhängigen Kennlinie nimmt die Förderleistung mit steigendem Gegendruck bedingt durch zunehmende Leitungslänge, erhöhte Drosselung oder ein geschlossenes Endventil ab.

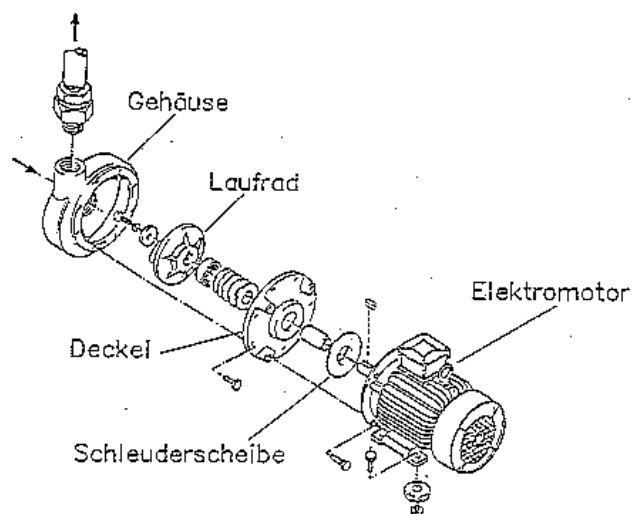


Abbildung 3.7: Aufbau einer Kreiselpumpe

3.1.3 Rohrleitung und Ventile

Für beide aufgebaute Versuchsanlagen wurde ein gemeinsames Rohrleitungssystem genutzt. Um möglichst praxisnahe Bedingungen an der Versuchsanlage zu gewährleisten, wurden ca. 250 m handelsübliches PVC-Rohr mit 56 mm Innen- und 63 mm Außendurchmesser verlegt. Das Rohrleitungssystem unterteilt sich in einen 120 m langen Vorlauf, eine 94 m lange Verteilstrecke mit 24 Ventilen sowie einen acht Meter langen Rücklauf (siehe Abbildung 3.8). Vor- und Rücklauf können wahlweise an den jeweiligen Wäge-Mischbehälter angeschlossen werden. Diese Rohrleitungen sind in einer Höhe von 2,5 Metern installiert. Dabei ist auf eine exakt horizontale Lage der Rohre geachtet worden, um Senkungen zu vermeiden. Derartige Niveauunterschiede können zu Futterablagerungen führen, die sowohl aus hygienischer als auch aus strömungstechnischer Sicht unerwünscht sind. Auf enge Bögen ($r < 220$ mm) konnte weitgehend verzichtet werden. Ein Schlauchkompensator zwischen der Pumpe und dem Beginn der PVC-Leitung vermeidet die Übertragung von Vibrationen der Pumpe auf das Rohrleitungssystem. Über einen Kugelhahn im Zulauf zur Futterleitung nahe der Pumpe kann der wirksame Förderquerschnitt und somit die Pumpenleistung gedrosselt werden. Die Auffangbehälter an den einzelnen Ventilen sind so aufgestellt, dass das Flüssigfutter über PVC-Schläuche in einer praxisüblichen Fallhöhe in die Behälter gelangt.

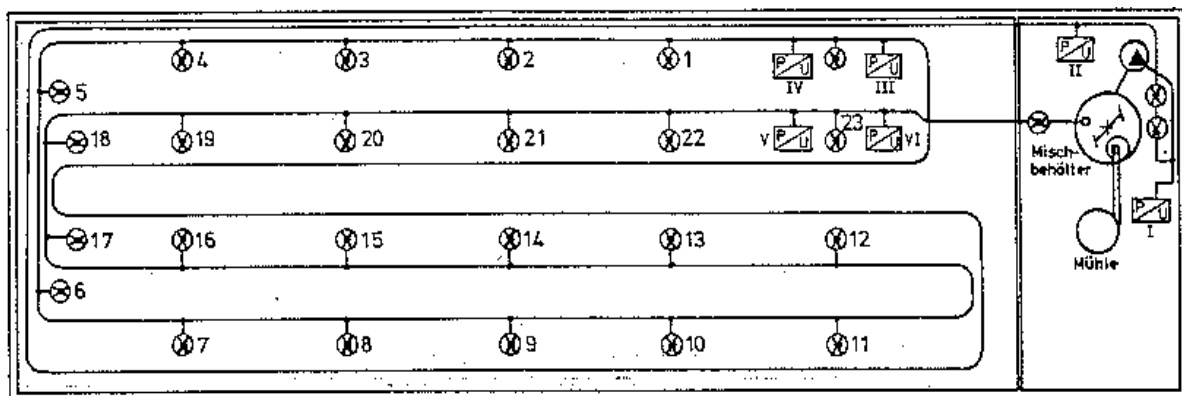


Abbildung 3.8: Rohrleitungsplan der Flüssigfütterungsanlage mit 24 Dosierventilen (Nr. 0 - 23)

Elektropneumatische Membranventile (siehe Abbildung 3.9) dienen in Flüssigfütterungsanlagen als Vor- und Endventile zur Steuerung des Umpumpens vor dem eigentlichen Fütterungsablauf und zum optionalen Schließen des Rücklaufes während des Dosiervorganges mittels Endventil sowie als Futterventile für die Futterzuteilung an den Buchten bzw. Auffangbehältern.

Die mit Hilfe eines T-Stückes seitlich der Rohrleitung montierten Futterventile behindern durch diese Anordnung nicht den Strömungsverlauf in der Anlage. Die Öffnungszeiten der Ventile werden anhand des Waagensignals über den Prozessrechner ge-

steuert. Die tatsächlich ausdosierte Masse wird folglich durch die Öffnungszeit des jeweiligen Ventils bestimmt.

Die Ventile bestehen aus einem elektrisch gesteuerten Magnetventil zur Schaltung des Steuerluftdruckes und einem Membranventil zur Durchfluss-Steuerung. Die Öffnungs- und Schließarbeit wird pneumatisch geleistet, wobei die Membranventile drucklos offen sind. Der Druck des Futterbreies in der Rohrleitung beträgt ca. 3 bar; zum Schließen eines Membranventils ist daher über 3 bar Steuerluftdruck erforderlich.

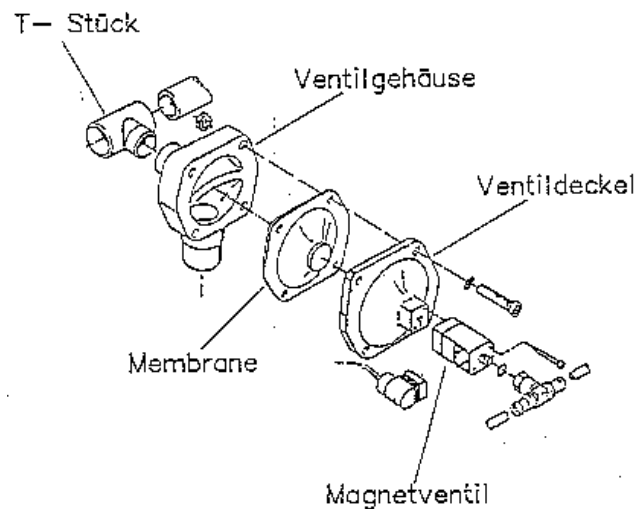


Abbildung 3.9: Aufbau eines PVC-Futterventils

3.1.4 Anlagensteuerung

Die Ansteuerung von Anlage A erfolgt über einen Standard-PC (MS-DOS, mindestens 8086-Prozessor). Das Programm wird mit einer Menüsteuerung bedient. Dabei gliedert sich das Hauptmenü in 14 Untermenüpunkte. Die Menüpunkte dienen zum einen der Einstellung der Anlage gemäß den Wünschen des Anwenders, zum anderen können mit direkten Befehlen Aktionen an der Anlage ausgelöst werden. Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über die Hauptmenüpunkte und deren Funktion.

Tabelle 3.1: Die Hauptmenüpunkte im Programm und deren Funktion (Anlage A)

Befehl	Funktion
MI	Mischungen - Eingabe der Mischungskomponenten, der Zusammensetzung der Mischung und der verschiedenen Alternativmischungen
ZE	Zeiten - Einstellung der Uhrzeit, der Anmisch- und Fütterungszeiten, der Rührwerkslaufzeiten sowie des Lichtvor- und -nachlaufs
KU	Kurven - Erstellung von insgesamt sieben Futterkurven mit individuellen Anpassungsmöglichkeiten
KI	Komponenten Istwerte - Vergabe der Komponentennummern, Zusammensetzung und Preis der Komponenten, Überwachung des Silos sowie der Kosten der Einzelkomponenten
KS	Komponenten Sollwerte - In diesem Unterpunkt sind keine Eingaben möglich; er dient zur manuellen Überwachung des Anmischvorgangs
VF	Ventile Futter - Eingabe der individuellen Dosierungsparameter für jedes Futterventil
VK	Ventile Kosten - Erstellung betriebswirtschaftlicher Auswertungen für die einzelnen Futterventile
PV	Prozess Variablen - Anpassung des Gesamtprogrammes an betriebsspezifische Bedürfnisse
DR	Drucker - Ausgabe diverser Bildschirmseiten auf dem Drucker
SM	Start Mischen - Manueller Start des Mischvorganges
SF	Start Füttern - Manueller Start des Fütterungsablaufes
SA	Start Füttern Adlib - Manueller Start des Fütterungsvorganges an einem bestimmten Ventil
ST	Stop Mischen/Füttern - Abbruch der momentan ablaufenden Aktion
AL	Alarm Abstellen - Schaltet das eingestellte Alarmsignal ab

Bei Anlage B erfolgt die Bedienung des Systems direkt am Prozessrechner. Das Programm besteht aus PULL-DOWN-Menüs und ermöglicht eine einfache, aber doch komfortable Steuerung der Flüssigfütterungsanlage. Die nachfolgende Darstellung zeigt einen Überblick der Programmfunktionen.

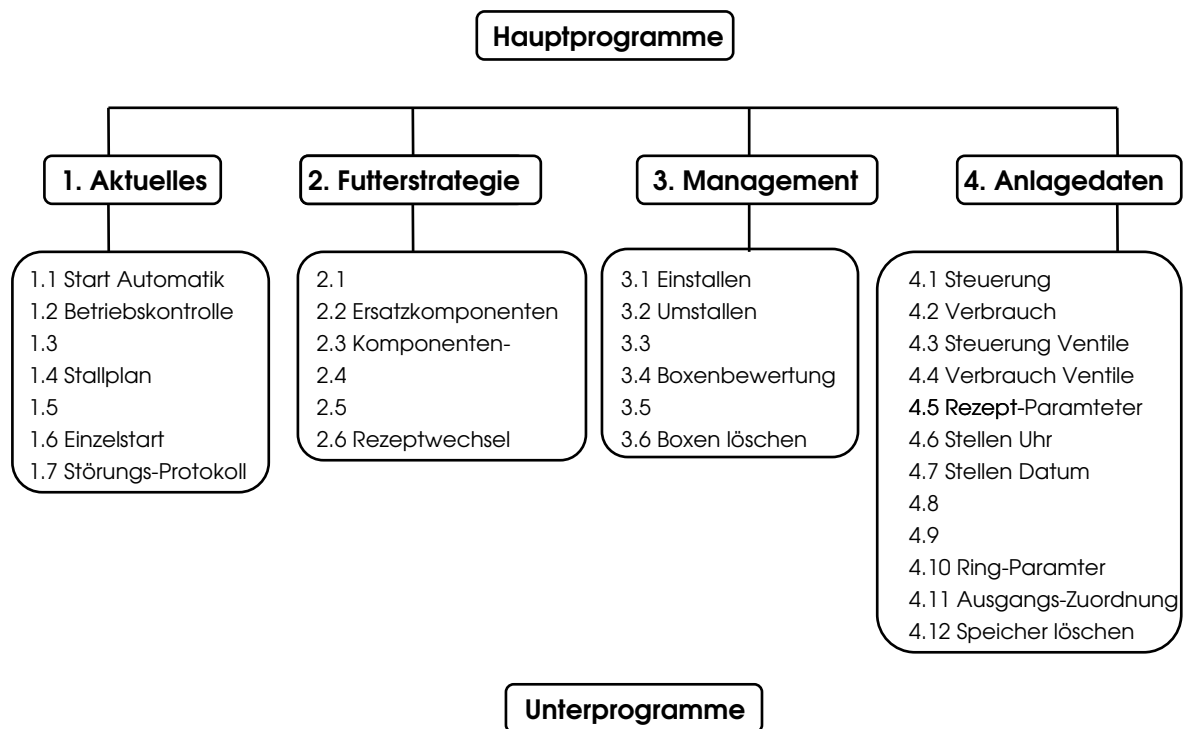


Abbildung 3.10: Programmstruktur (Anlage B)

Eine Besonderheit bei Anlage B stellt deren Lernfähigkeit beim Ausdosiertvorgang dar. So wird der Sollwert und der mittels Wägesignal ermittelte Istwert verglichen und eine optionale Nachlaufkorrektur durchgeführt. Mit dem LTM (Life Time Management) - Faktor wird diese Differenz gespeichert und beim nächsten Ausdosiertvorgang in der Zeitsteuerung des jeweiligen Dosierventils mit einbezogen.

3.2 Zusammensetzung des Flüssigfutters

3.2.1 Futterrezepturen

Die Untersuchungen wurden mit zwei Mischungen (A und B) durchgeführt. Mischung A entspricht der Standardmischung für Mastleistungsprüfungsanstalten und diente zur Bewertung der Probenahmeverfahren. Die einzelnen Futterkomponenten hatten nachfolgende Anteile an der Trockenfuttermischung:

Mischung A

Wintergerste	79,0 %
Sojaextraktionsschrot (Normtyp)	18,0 %
Mineralfutter (siehe Kapitel 3.2.3.4)	3,0 %

In allen Untersuchungen wurde die Getreidekomponente zu gleichen Teilen zwischen Weizen und Gerste aufgeteilt, um auch den Einfluss der in der Praxis weit verbreiteten Komponente Weizen zu erfassen. Mischung B hatte folgende Zusammensetzung:

Mischung B

Winterweizen	39,5 %
Wintergerste	39,5 %
Sojaextraktionsschrot (Normtyp)	18,0 %
Mineralfutter (siehe Kapitel 3.2.3.4)	3,0 %

3.2.2 Futter-Wasser-Verhältnis

Die begrenzenden Faktoren für die Festlegung des Futter-Wasser-Verhältnisses stellen zum einen die Pump- und Fließfähigkeit des Flüssigfutters und zum anderen die begrenzte Futteraufnahmekapazität der Schweine dar. Je höher der Trockenmassegehalt des Flüssigfutters ist, umso stabiler bleibt die Mischung. Allerdings sind hinsichtlich der Mischbarkeit sowie der Förderung und Verteilung im Trog bestimmte Anforderungen an die Fließfähigkeit zu stellen (ALBERS 1989). Flüssigfutter kann so angemischt werden, dass der tägliche Flüssigkeitsbedarf von Mastschweinen gedeckt wird. Dies entspricht einem Wasserzusatz von 2,5 bis 3 L pro kg Futter (BURGSTALLER 1991, KIRCHGESSNER et al. 2008). Steigt der Wasserzusatz über 3,5 L pro kg Futter an, dann wird die Nährstoffaufnahme unzureichend (KIRCHGESSNER et al. 2008). Das Verhältnis von lufttrockenem Futter zu Wasser sollte demnach zwischen 1 : 2,5 und 1 : 3 liegen.

In allen Versuchen dieser Arbeit wurde ein Futter-Wasser-Verhältnis von 1 : 3 gewählt mit Ausnahme der Versuchsserie zur Variation des Futter-Wasser-Verhältnisses.

3.2.3 Futterkomponenten

Das Ziel bei der Auswahl der Futterkomponenten war, eine gleich bleibende Qualität und Zusammensetzung der Futtermischung zu gewährleisten. Von jeder eingesetzten Komponente wurden vor Versuchsbeginn Proben gezogen und analysiert. Leichte Schwankungen im TM-Gehalt ließen sich aufgrund lagerungstechnischer Gegebenheiten nicht vermeiden. Die Aufbereitung der Futterkomponenten (Getreide, Sojaextraktionsschrot) erfolgte an einer stationären Mahl- und Mischanlage bei einer Siebgröße von 2,5 mm. Die Mineralfutterkomponente wurde der Futtermischung direkt zudosiert.

3.2.3.1 Gerste

In allen Futtermischungen wurde Gerste als alleiniger oder zusammen mit Weizen als weiterer Energieträger eingesetzt. Es handelte sich um die vierzeilige Wintergerste „CORONA“. Durch die unterschiedlichen Erntejahrgänge 1991 und 1992 zeigte sich eine leichte Variation in den untersuchten Inhaltsstoffen.

3.2.3.2 Weizen

Beim Winterweizen, der in Mischung 2 eingesetzt wurde, handelte es sich um den C-Weizen „SLEJPNER“. Für die gesamte Versuchsreihe stand eine Partie aus dem Jahrgang 1992 zu Verfügung.

3.2.3.3 Sojaextraktionsschrote

Als Proteinträger wurde Sojaextraktionsschrot, dampferhitzt, (Normtyp) verwendet. Nach der Futtermittelverordnung (1991, Anlage A) lauten die Anforderungen bezogen auf die Originalware wie folgt:

- mindestens 43 % Rohprotein
- maximal 7 % Rohfaser
- höchstens 13 % Wasser

3.2.3.4 Mineralfutter

Aufgrund der homogenen Verteilung der wasserlöslichen Bestandteile im Futterbrei sollte der Löslichkeit einiger mineralischer Komponenten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dabei sind es vor allem die wasserunlöslichen Calciumcarbonate und Dicalciumphosphate, welche die Löslichkeit eines Mineralfutters bestimmen (ALBERS 1989). Als mineralische Futterkomponente wurden verschiedene Mineralfut-terttypen von einem Hersteller eingesetzt. Aufgrund der Tatsache, dass ein Mineralfut-terhersteller gleiche Ausgangsrohstoffe verwendet, konnte bei den Löslichkeitsunter-suchungen der Mineralfutter eine ähnliche Löslichkeit festgestellt werden. Bei den ex-perimentellen Untersuchungen waren gleiche Futtereigenschaften hinsichtlich des Mi-neralfutters für alle Probenahmeverfahren vorgegeben.

3.3 Probenahmeverfahren

Im Rahmen der Untersuchungen zur qualitativen Dosiergenauigkeit wurden vier Probenahmeverfahren verglichen:

- Handentnahme
- Probenmessstab
- Radprobenteiler
- Laborprobenteiler

Der Probenmessstab wurde außerdem zur Probenentnahme aus dem Wägemischbehälter eingesetzt.

3.3.1 Handentnahme

In der Durchführung stellt die Handentnahme unter den oben aufgeführten Probenahmeverfahren die einfachste Variante dar. Die Probenahme erfolgt mittels einer Polyethyldose, die von Hand durch das Flüssigfutter gezogen wird. Bei den Standarduntersuchungen wurden Polyethyldosen mit einem Volumen von 1,25 Liter verwendet.

Die Handentnahme wurde ausschließlich zur Prüfung der qualitativen Dosiergenauigkeit an den Futterventilen eingesetzt. Aus sicherheitstechnischen Gründen schied eine Probenahme im Anmischbehälter mit diesem Verfahren aus. Zur Durchführung der Probenahme an einem beliebigen Dosierventil wird der Futterbrei in einem dafür vorgesehenen Behälter aufgefangen. Das Ziel der Untersuchungen der Probenahmeverfahren war, möglichst repräsentative Teilproben aus diesen Behältern zu erhalten

Als Auffangbehälter dienten Kunststoffbehältnisse mit einem Fassungsvermögen von 55 bis 75 Liter. Es standen sowohl runde als auch rechteckige Tonnen als Auffangbehälter zur Verfügung. Unmittelbar vor der Probenahme wurde das Flüssigfutter mit einem von einer Handbohrmaschine angetriebenen Rührquirl aufgerührt. Danach erfolgte die Probenahme in der im vorangegangenen Absatz beschriebenen Art und Weise (siehe Abbildung 3.12).



Abbildung 3.11: Durchführung der Handentnahme

Das Volumen der Probenahmegefäße wurde zwischen 0,25 und 1,25 Liter in Abständen von 0,25 Litern variiert.

Zur Überprüfung des Probennahmeverfahrens (per Handentnahme) wurden aus dem Mischbehälter mindestens vier Mischungen mit jeweils 25 kg Flüssigfutter in gleicher Zusammensetzung erstellt. Um einen Einfluss des Futterquellungszustandes auszuschließen, wurde das Flüssigfutter 24 Stunden vor dem Ausdosieren angemischt. Vor der Probenahme erfolgte eine gründliche Durchmischung des Futterbreies. Anschließend wurden aus jeder Mischung mindestens 6 Teilproben entnommen.

3.3.2 Probenmessstab

Die Idee zur Entwicklung eines Probenmessstabes wurde unter den Mitarbeitern des Projektes „Simulationsanlage Flüssigfütterung“ am Institut für Landtechnik und am Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie geboren.

Das Ziel dieses Probenahmeverfahrens ist die Entnahme von repräsentativen Teilproben aus dem Mischbehälter. Ein besonderes Anliegen war die Probenahme in unterschiedlicher Höhe im Mischbehälter, um eventuell auftretende Inhomogenitäten quantifizieren zu können.

Der in den Untersuchungen verwendete Probenahmestab besteht aus einem etwa 1,20 m langen äußeren Metallrohr, in das ein 1,40 m langes transparentes Innenrohr aus Plexiglas eingeschoben ist. Bei der Konstruktion des Mess-Stabes, der in Varianten von 0,50 bis 2,00 Meter gefertigt wurde (siehe Abbildung 3.13), ist besonders auf eine exakte Verarbeitung Wert zu achten. Ein möglichst knapper Sitz der Bauteile soll das Eindringen von Flüssigkeit in den Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr verhindern. Diese Flüssigkeit, im ungünstigeren Falle auch Flüssigfutter, könnte vor der Entleerung verloren gehen. Daher erfolgte die Anpassung des Plexiglasrohres an einer Präzisionsdrehmaschine.

Vor jedem Einsatz muss das Plexiglasrohr mit hochviskosem Silikonfett dünn eingerieben werden, um noch vorhandene feine Rillen und Unebenheiten auszufüllen und den Zwischenraum zwischen beiden Bauteilen vollkommen wasserundurchlässig zu gestalten. Des Weiteren werden durch den Einsatz des Silikonfettes eine Verminderung der gegenseitigen Reibung sowie eine Schonung der Gummidichtringe erreicht.

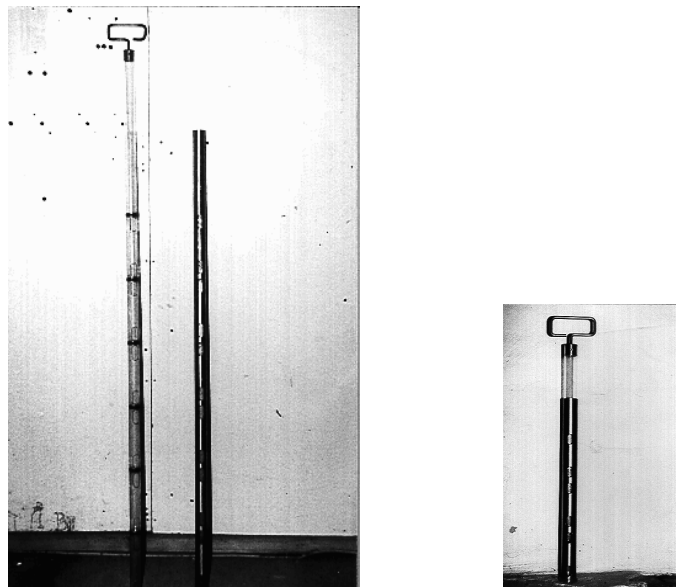


Abbildung 3.12: Probenmessstab in unterschiedlicher Ausführung
(Links 1,5 Meter, rechts 0,5 Meter)

Der Probenmessstab ist der Länge nach mit etwa 4,5 cm langen und 2 cm breiten ovalen Öffnungen versehen, durch die das Flüssigfutter in den Stab eintreten kann. Der Innenstab ist durch eingeklebte Trennböden unterteilt. Das Fassungsvermögen jeder einzelnen Kammer beträgt ca. 125 ml. Jede Kammer hat zwei Eintrittsöffnungen, um einen möglichst schnellen Eintritt des Futterbreies zu ermöglichen (s. Abbildung 3.14). Zur zusätzlichen Abdichtung ist zwischen den Kammern ein Gummistreifen in gefrästen Vertiefungen eingelegt.

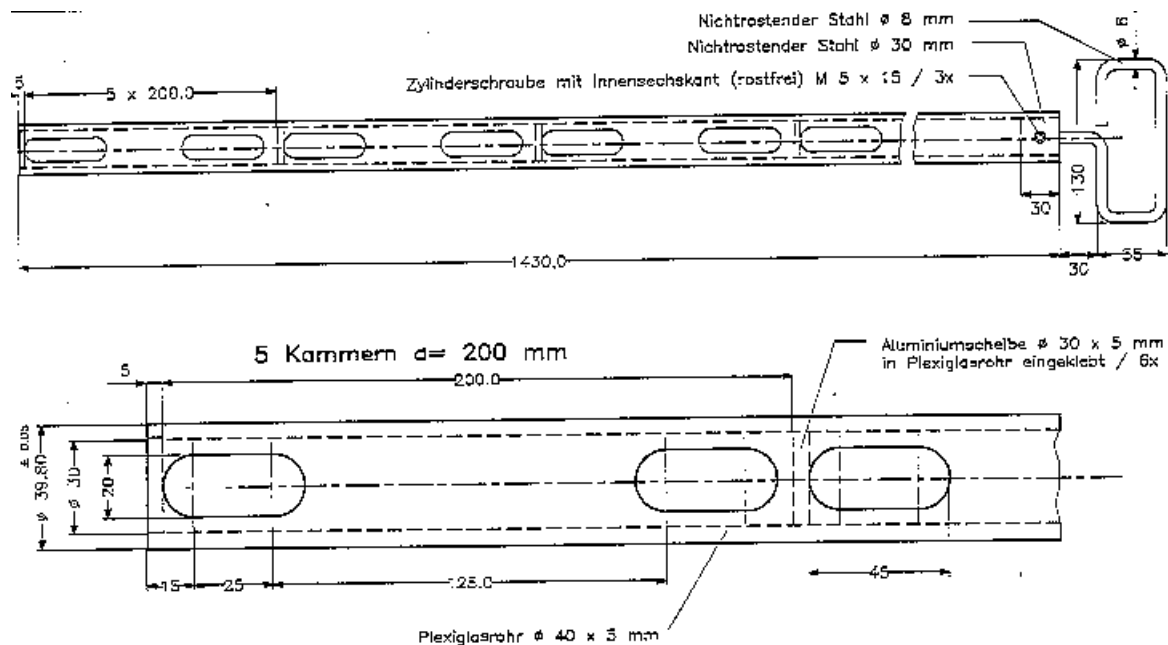


Abbildung 3.13: Konstruktionsdaten zum Probenmessstab

Für die praktische Handhabung erweist sich die Aufteilung des Stabes in mehrere Kammern als nachteilig, da der Entleerungsvorgang sehr zeitaufwendig ist. Diese Unterteilung des Stabes ist zwingend, um die Homogenität der Futtersuppe im Mischbehälter in verschiedenen Höhen beurteilen zu können. Sollte die Schichtung im Futterbrei nicht von Bedeutung sein (Ziehung einer Gesamtprobe), kann ein Stab ohne Trennböden eingesetzt werden. Somit wird die Entleerung des Probenmessstabes beschleunigt, und zusätzlich besteht die Möglichkeit, diesen zur Probenahme an den Futterventilen einzusetzen.

Die experimentellen Untersuchungen mit dem Probenmessstab wurden am Wägemischbehälter der Flüssigfütterungsanlage durchgeführt (siehe Abbildung 3.15). Hierzu wird der Probenahmestab bis auf den Boden des Anmischbehälters mit geschlossenen Kammeröffnungen eingetaucht. Die Kammern werden durch eine Drehung des Innenrohres um 90° geöffnet. Das Flüssigfutter kann in das Innere des Stabes eintreten.

Nachdem der Stab gefüllt ist, wird dieser durch eine Drehung in die entgegengesetzte Richtung wieder verschlossen und aus dem Futterbrei herausgezogen.

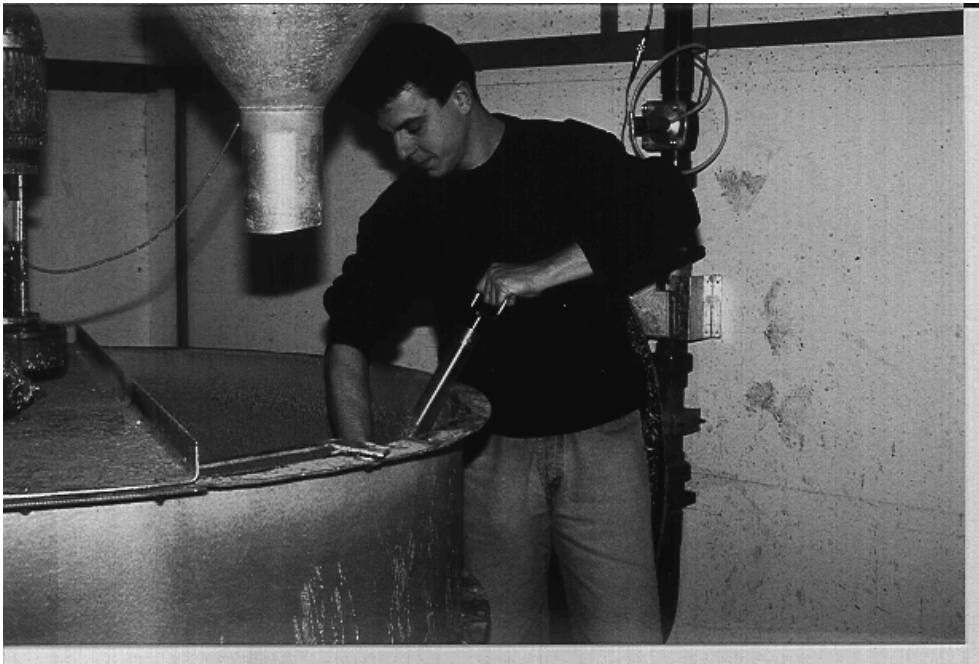


Abbildung 3.14: Durchführung der Probenahme mit dem Probenmessstab

Die Probenahme erfolgte im Wäge-Mischbehälter von Anlage A mit dem Propellerkranzrührwerk. Die sowohl bei laufendem als auch bei stehendem Rührwerk durchgeführten Untersuchungen lassen Aussagen über die Funktionsfähigkeit eines solchen Rührelementes zu. Nicht jeder Rührwerkstyp ermöglicht eine Probenahme bei laufendem Rührwerk. Bei einem Kreuzbalkenrührer würde der Probenahmestab mit großer Wahrscheinlichkeit von einem Rührwerkskörper erfasst werden. Auch aus sicherheitstechnischen Gründen ist von einer Probenahme bei laufendem Rührwerk abzusehen, da es eine ständige Gefahr für den Probenehmer darstellt.

Der Anmischvorgang im Wäge-Mischbehälter erfolgte stets unter Einsatz eines Bypasses, um auch die abgesetzte Vertiefung, die im Strömungsschatten des Rührwerks liegt, mit in den Mischprozess einzubeziehen. Eben solche Problematik wurde anhand von Vorversuchen ermittelt. Im Praxisbetrieb wird diese Durchmischung ausreichend durch das Umpumpen der im Rohrleitungssystem verbliebenen Futtermenge gewährleistet. Aufgrund der Installation des Bypasses war es nicht nötig, das gesamte Leitungsnetz mit Futter zu befüllen.

Mit einer Gesamtmischung von 1333 kg wurden vier Wiederholungen der Probenahme durchgeführt

Um zu prüfen, inwieweit auch der Quellvorgang im Futter die Probenahme beeinflusst, wurden aus dem gefüllten Wäge-Mischbehälter neun Proben zeitlich gestaffelt gezogen.

3.3.3 Radprobenteiler

Der in die Untersuchungen einbezogene Radprobenteiler stellt eine Entwicklung der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Münster, dar. Dieser Prototyp dient zur Probenahme von Flüssigfutter an den Trogventilen, mit dem Ziel eines einfachen praxisgerechten Einsatzes.

Das Probenahmegerät besteht aus dem Hinterrad eines Fahrrads mit Zahnkranz und Kette, die über einen Elektromotor angetrieben wird. Als Stromquelle dient eine 12-Volt-Autobatterie. An der Radfelge sind sechs Halterungen für Probegefäße angebracht. Durch die doppelte Untersetzung mittels einer Kettenschaltung kann das Probenahmegerät so angetrieben werden, dass etwa 8,5 Umdrehungen pro Minute erzielt werden, um auch einen problemlosen Austausch der vollen gegen leere Probegefäße zu ermöglichen. Dies ergibt somit einen theoretischen Abstand zwischen zwei Probegefäßen von ca. 1 Sekunde. Als Variation des Gerätes bietet sich die Änderung der Untersetzung wie auch eine Änderung der Anzahl von Probegefäßen am Umfang des Rades an.

Die Durchführung der Probenahme erfolgte an einem beliebig ausgewählten Futterventil, das jedoch nicht am Anfang oder am Ende des Rohrleitungssystems positioniert war, da besonders das erste Futterventil nur eine geringe quantitative Dosiergenauigkeit aufwies. Das Öffnen des Ventils erfolgte von Hand durch Ablassen des Luftdrucks, der bei geschlossenem Ventil die Membran vor den Auslauf presst. Der Futter Schlauch, der sonst im Auffangbehälter endete, musste während des Ventilöffnens über den Radprobenteiler gehalten werden, wo Teilproben in den am Rad befestigten Polyethylendosen aufgefangen wurden. Der Radprobenteiler war über einem 200 Liter großen Auffangbehälter postiert, um die Futterreste, die nicht in die Probengefäße gelangten, zu sammeln (s. Abbildung 3.16).



Abbildung 3.15: Durchführung der Probenahme mit dem Radprobenteiler

Mit der üblichen Drosselstellung von 0,75 (50 % des Rohrquerschnitts sind geschlossen) konnten aufgrund des starken Futterstromes keine Proben gezogen werden. Ab einer Drosselstellung von 0,85 war es möglich, das Flüssigfutter ohne Spritzverluste in den Polyethyldosen aufzufangen. Bei höheren Drosselstellungen reichte der Druck im Leitungssystem nicht mehr aus, die Membran zu bewegen bzw. das Ventil zu öffnen.

Bei der Probenahme bestand eine weitere Variation darin, dass das Futter entweder jedes Mal direkt vor dem Ausdosieren oder nur einmal vor der ersten Ausdosierung umgepumpt wurde. Zur Kennzeichnung wurden diesen Zuständen die Begriffe "bewegte" bzw. "stehende" Futtersäule zugewiesen. Jede der beiden Varianten beinhaltete vier Durchgänge. Bei jedem Durchlauf fielen 6 Teilproben, d.h. sechs Wiederholungen je Durchgang, an.

3.3.4 Laborprobenteiler

Der Laborprobenteiler PT bzw. PTF der Firma Retsch (siehe Abbildung 3.17) soll die mengenmäßige Reduzierung großer Anfangsproben in kleinere Analysenproben ermöglichen. Hierbei handelt es sich weniger um ein Probenahmeverfahren als um eine Möglichkeit, im Labor anfallende Flüssigproben beliebig zu verkleinern.

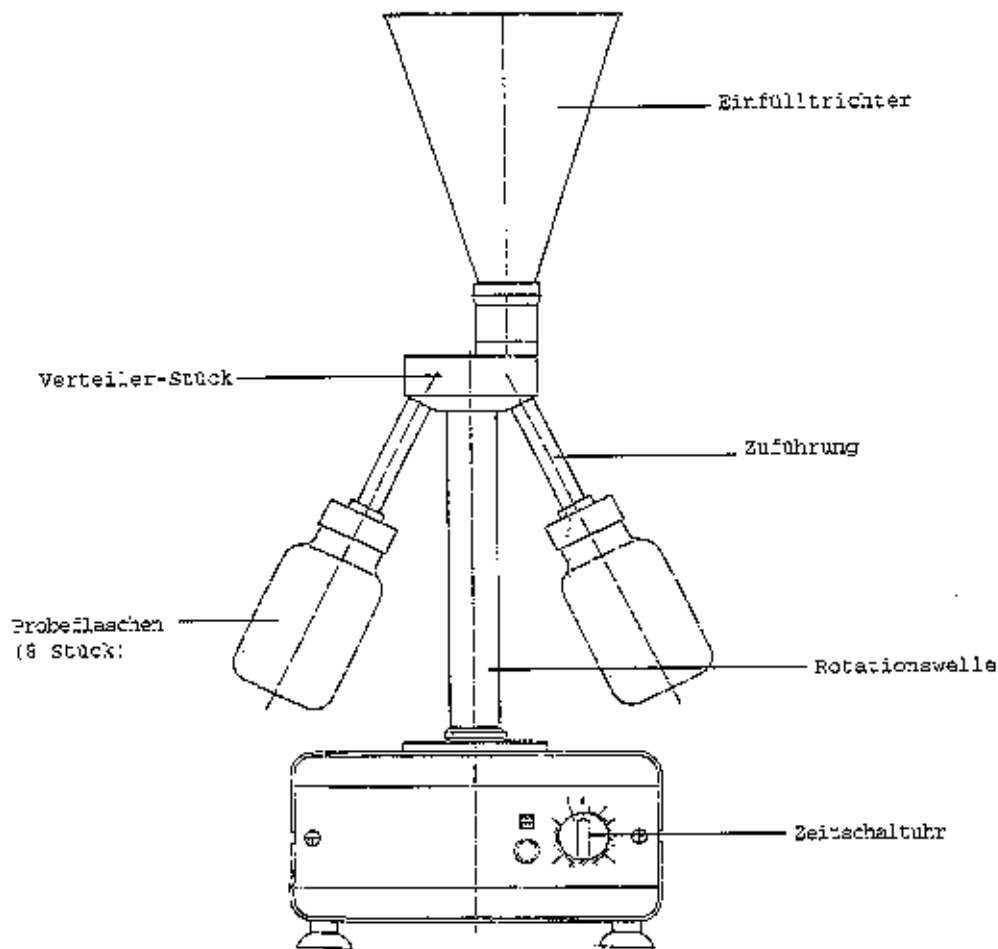


Abbildung 3.16: Laborprobenteiler PT

Der Vorteil kleiner Analysenproben besteht in der Möglichkeit, mit der gleichen Laborkapazität eine wesentlich höhere Probenanzahl aufarbeiten zu können. Dies wird besonders bei der Trocknung von Flüssigfutter deutlich, da eine schnelle Trocknung große Verdunstungsflächen erfordert, diese wiederum aber einen großen Raum im Trockenschrank einnehmen. Auf diese Problematik wird in Abschnitt 3.5 noch näher eingegangen.

Zur Durchführung dieser Untersuchung standen vier Flüssigfuttermischungen à 1 kg mit gleicher Zusammensetzung zur Verfügung. Wasser und Futterkomponenten für diese Mischungen wurden auf einer Analysenwaage mit 10 mg Genauigkeit eingewogen.

Vor der Überführung in den Probenteiler wurde das Flüssigfutter in den Polyethylen-dosen durch kräftiges Schütteln gut durchmischt. Dann wurde der Futterbrei mit Hilfe eines Trichters in den rotierenden Probenteiler (ca. 108 U/min) expediert (siehe Abbildung 3.18). Die Gesamtprobe konnte somit in acht reduzierte Proben, d.h. acht Wie-

derholungen, aufgeteilt werden. Diese Teilproben wurden in den dazugehörigen Glasflaschen aufgefangen. Der gleiche Versuchsablauf wurde auch mit der Zusatzausrüstung für die Verteilung flüssiger Medien (PTF) durchgeführt. Hierbei werden die festen Futterbestandteile mit einem am Gerät installierten Rührer in Schwebe gehalten, um eine Phasentrennung im Futter zu vermeiden.



Abbildung 3.17: Probenteilung mit dem Laborprobenteiler

Hinsichtlich der Zusammensetzung der einzelnen Teilproben wurde eine hohe Übereinstimmung erwartet. Nach Angaben der Herstellerfirma sollte dies für Trockenfutter mit der Standardausführung und für Flüssigfutter mit der Zusatzausrüstung PTF möglich sein.

3.4 Mineralfutteruntersuchung

In Laborversuchen wurden 17 verschiedene Mineralfutter von fünf Herstellern auf chemisch-physikalische Merkmale untersucht, um ihre Eignung für die Flüssigfütterung zu prüfen. Für die einzelnen Mineralfutter erfolgte zunächst ein Vergleich der Soll- und Ist-Gehalte an Inhaltsstoffen.

Die weitergehenden Analysen beschäftigten sich mit dem Löslichkeitsverhalten, der Dichte und der Korngrößenverteilung (Siebanalyse).

3.4.1 Löslichkeitsverhalten

Ausgehend von der Tatsache, dass sich gelöste Bestandteile homogen auf die wässrige Phase im Futterbrei verteilen, nimmt das Löslichkeitsverhalten eine bedeutende Stellung bei der Dosierqualität von Flüssigfütterungsanlagen ein. Zur Bestimmung des Löslichkeitsverhaltens wurden zwei Verfahren angewandt.

Verfahren A: Bei diesem Verfahren lag der methodische Schwerpunkt auf dem Einfluss des Rührvorgangs. Die Simulation des Mischprozesses erfolgte über einen Magnetrührer in einem mit entsprechender Einwaage versehenen 250-mL-Becherglas (hohe Form). Die Dauer des Rührvorgangs variierte zwischen 7 und 35 Minuten. Nach Beendigung des Rührens wurden die Proben durch einen G2-Glasfiltertiegel (Hersteller: Duran) abgenutscht. Zum zügigeren Absaugen war dieser mit einer Schicht Quarzsand versehen. Die im Filtrat wieder gefundenen Anteile an Mengen- (Ca, P) und Spurenelementen (Zn, Cu) wurden als lösliche Fraktion gewertet.

Verfahren B: Während beim Verfahren A der Glasfiltertiegel zum schnellen Absaugen der Proben eine relativ große Durchlässigkeit aufweisen musste, sollte beim Verfahren B die Permeabilität von Feinpartikeln durch den Einsatz eines Papierfilters aufgehoben werden. Ferner wurde die Einwaage des Mineralfutters und entsprechend das Wasservolumen erhöht. Der Rührvorgang wurde mittels eines Glasstabes simuliert. Nach einer Standzeit von vierundzwanzig Stunden bei Raumtemperatur erfolgte das Absaugen der Proben. Die Löslichkeit wurde sowohl über die unlöslichen Rückstände als auch über das Filtrat bestimmt.

3.4.2 Dichtebestimmung und Siebanalyse

Die Dichtebestimmung der Mineralfutter erfolgte mittels eines Pyknometers. Für die Siebanalyse stand ein Siebturm mit Siebgrößen von 0,2 bis 1 mm zur Verfügung. Die fünf Fraktionen wurden gewichtsmäßig ermittelt.

3.5 Analytische Methoden

Futtermittel und Flüssigfutterproben wurden nach Standardverfahren der Futtermittelanalytik VDLUFA (NAUMANN et al 1988) analysiert.

3.5.1 Probenaufbereitung

Die Futtermittel wurden einheitlich vor der Analyse fein (1-mm-Sieb) vermahlen. Die Probenaufarbeitung erwies sich als sehr zeitaufwändig, bedingt durch den hohen Wassergehalt, der durch schonende Trocknung abgedampft werden musste, da keine leistungsfähige Gefriertrocknungsanlage zur Verfügung stand. Für eine schnelle und schonende Trocknung bei ca. 50 °C ist eine große Verdunstungsoberfläche notwendig. Nur bei kleinvolumigen Proben aus den einzelnen Kammern des Probenmessstabes war es möglich, die Proben direkt in den Sammlergefäßen (Polyethyldosen) zu trocknen. Bei großvolumigen Proben hingegen bot diese Methode keine Alternative. In einem Vorversuch waren dazu Trocknungszeiten von bis zu vier Wochen erforderlich. Durch den Einsatz großflächiger, mit Teflon beschichteten Weißblechschalen sowie Kunststoffschalen (Oberfläche ca. 1000 cm²) war es möglich, den Trocknungsprozess auf etwa eine Woche zu verkürzen.

Durch die Verwendung der großflächigen Schalen war es nicht möglich, diese nach dem Trocknen zum Abkühlen unter Luftabschluss in einen Exsikkator zu stellen. Daher wurden die Proben in einem geschlossenen Laborraum abgekühlt und dann zurückgewogen. Der Einfluss der Luftfeuchte als systematische Einflussgröße auf den so ermittelten Trockenmassegehalt wurde in einem Nebenversuch bestimmt.

Nach der Trocknung wurden die Proben in Polyethyldosen verschlossen in einem trockenen Raum aufbewahrt. Vor der chemischen Analyse wurden sie mit einer Analysenmühle bei einer Siebgröße von 1 mm vermahlen. Mit dieser Endprobe wurden dann alle weiteren Analysen durchgeführt.

Um die Flüssigfutterproben vollständig aus den Probenahmegeräten bzw. -behältnissen zu überführen, wurden die Behältnisse mit destilliertem Wasser nachgespült. Die dabei eingesetzte Wassermenge wurde gewichtsmäßig ermittelt und bei der Berechnung der Einwaage der jeweiligen Flüssigfutterproben abgezogen.

3.5.2 Trockenmasse

Die Bestimmung der Trockenmasse in Flüssigfutterproben wurde nach Trocknung bei 50 °C in einem Umlufttrockenschrank bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt. (vergleiche 3.5.1). Für die Bestimmung des Trockenmassegehaltes der gemahlenen Analysenproben wurden Aliquote bei 105 °C getrocknet.

3.5.3 Rohprotein

Der Rohproteingehalt wurde, wie im Methodenhandbuch der VDLUFA (1988) beschrieben, nach der Kjeldahl-Bestimmungsmethode (amtliche Bestimmung) ermittelt. Der Aufschluss der Futterproben und die Destillation mit anschließender Titration erfolgte mit der institutseigenen Kjel-Foss-Automatic.

Von jeder gemahlenen Probe wurden mindestens zwei Aliquote (0,4 - 0,5 g) eingewogen. Bei höheren Einwaagen war der vollständige Aufschluss der Futterproben nicht ausreichend gesichert.

3.5.4 Rohasche

Der Rohaschegehalt wurde auf der Grundlage der Methode zur Herstellung einer Kupfer-Aschelösung nach der amtlichen Methode im Methodenhandbuch (VDLUFA 1988) ermittelt. Dabei wurden die Proben über Nacht bei 450 °C im Muffelofen verascht. Von jeder Probe wurden zwei Aliquote verascht.

3.5.5 Mengenelemente (Ca, P)

Die Mengenelemente Calcium und Phosphor wurden aus der Kupfer-Aschelösung bestimmt. Diese Aschelösung wurde nach dem Prinzip der Trockenveraschung hergestellt (siehe HAUTER 1994, S.30).

Die Calciumbestimmung erfolgte überwiegend nach der amtlichen Methode. Als weitere Methode der Ca-Analyse wurde induktiv gekoppelte Plasmaatommissions-Spektroskopie (ICP) eingesetzt.

Die Phosphorbestimmung wurde nach der amtlichen Methode durchgeführt. Dabei wird die Aschelösung mit Vanadat-Molybdat-Reagenz versetzt und diese gelbliche Lösung bei einer Wellenlänge von 430 nm im Spektralphotometer gemessen.

3.5.6 Spurenelemente (Zn, Cu)

Die Spurenelemente in der Kupfer-Aschelösung wurden mit Atom-Absorptions-Spektrometrie (AAS) bestimmt. Dabei wurden Zink und Kupfer gegen entsprechende Eichlösungen bei 213,8 bzw. 324,8 nm gemessen.

3.6 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte mit folgenden Programmpaketen:

- SPSS 14.0 (Statistik-Programm-Paket),
- Quattro Pro für Windows (Tabellenkalkulation)
- Microsoft Excel (Tabellenkalkulation)

3.6.1 Definitionen

3.6.1.1 Wiederholstandardabweichung

Die Standardabweichung s (SD, standard deviation) charakterisiert den Zufallsfehler eines Analyseverfahrens in allgemeingültiger und eindeutiger Weise (DOERFFEL 1987, ESSL 1987). Deshalb sollte sie stets zur Bewertung eines Analyseverfahrens herangezogen werden. Die Standardabweichung ist als eine Zufallsgröße anzusehen, d.h., bei Wiederholung des Versuches wird man stets zufällig abweichende Zahlenwerte für s erhalten (DOERFFEL 1987).

Diese Größe wird aus einer Reihe wiederholter, voneinander unabhängiger Messungen an homogenem Probenmaterial ermittelt. Die Gültigkeit dieser Fehlerangabe erstreckt sich immer auf die gleichen Versuchsbedingungen, d.h. Wiederholung der Analyse in

einem beliebigen Laboratorium unter jeweils gleichen Voraussetzungen (KAISER UND MÜHLBAUER 1983, DOERFFEL 1987). Diese Voraussetzungen sind folgendermaßen definiert:

- ein Sachbearbeiter,
- gleiche Probe,
- gleiches Messverfahren,
- zeitlich parallel oder unmittelbar hintereinander gemessen.

Die Wiederholstandardabweichung s_w stellt den Zufallsfehler dar, der sich auf mehr als eine Fehlerursache zurückführen lässt (DOERFFEL 1987). Die Berechnung der Standardabweichung stößt beim Analytiker meist auf Schwierigkeiten, da an einer Probe selten mehr als drei Parallelbestimmungen üblich sind. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die an Proben verschiedenen Gehaltes ausgeführten Mehrfachbestimmungen zu verwenden. Man berechnet aus ihnen Teilstandardabweichungen s_j und aus diesen durch Summenbildung die Gesamt- bzw. Wiederholstandardabweichung s_w . In der Regel sind die Teilstandardabweichungen unabhängig vom Gehalt (DOERFFEL 1987).

Die Wiederholstandardabweichung ist somit ein geeignetes statistisches Maß zur Bewertung der Messgenauigkeit. Sie lässt sich über die Durchführung mehrerer voneinander unabhängigen Probenahmeserien ermitteln.

Ihre Berechnung erfolgt durch die einfache Varianzanalyse, bei der die Gesamtvarianz in das mittlere Abweichungsquadrat (= Varianz) „zwischen“ den Häufigkeitsverteilungen bzw. Gruppen und „innerhalb“ der Gruppen zerlegt wird. Die Wiederholstandardabweichung errechnet sich als Quadratwurzel der Varianz „innerhalb“ der Gruppen.

3.6.1.2 Wiederholbarkeit

Die Wiederholbarkeit W ist jener Messwertbereich, in welchem zwei zufällig ausgewählte Einzelmesswerte, die unter Wiederholmessbedingungen gewonnen wurden, mit einer Wahrscheinlichkeit von $P = 95\%$ liegen werden (KAISER UND MÜHLBAUER 1983). Mit anderen Worten: Es dürfen unter den Bedingungen der Wiederholung zwei Einzelmesswerte nicht stärker als um w differieren (HARTMANN 1985). Weichen zwei Einzelwerte um nicht mehr als w voneinander ab, müssen beide bzw. alle Messwerte als gleichwertig angesehen werden (KAISER UND MÜHLBAUER 1983).

$$W = t(P = 0,95; FG) \times s_w \times \sqrt{2}$$

Die Wiederholbarkeit bzw. Reproduzierbarkeit als Maß der Präzision hängt vom Zufallsfehler des Verfahrens (Probenahme) ab. Je größer der Zufallsfehler ausfällt, desto stärker streuen die Werte bei der Wiederholung der Analyse und desto geringer ist die Präzision des Verfahrens (DOERFFEL 1987).

Wiederholbarkeitsangaben für die Bestimmung charakteristischer Inhaltsstoffe in Futtermitteln sind im Methodenhandbuch zur Futtermittelanalytik (VDLUFA 1988) zu finden.

3.6.1.3 Richtigkeit

Als Richtigkeit wird die Übereinstimmung der gefundenen Gehalte mit dem wahren Gehalt der Probe bezeichnet (DOERFFEL 1987). Auch die mit kleinster Standardabweichung und bester Wiederholbarkeit gefundenen Resultate können teilweise oder vollständig falsch sein (KAISER U. MÜHLBAUER 1983, HARTMANN 1985). Das Ergebnis ist bei allen quantitativen Resultaten anteilig falsch, wenn es vom wahren Wert signifikant abweicht (KAISER UND MÜHLBAUER 1983). Ein Analyse- oder Probenahmeverfahren kann nur dann richtige Werte liefern, wenn es frei von systematischen Fehlern ist. Systematische Fehler, die auf das Analyseverfahren zurückzuführen sind, machen ein Analyseergebnis falsch (DOERFFEL 1987).

Zur Überprüfung der Richtigkeit wird in der Literatur auf einen Sonderfall des zweiseitigen t-Tests verwiesen (DOERFFEL 1987; KAISER U. MÜHLBAUER 1983; KÖHLER 1984). Die Berechnung des t-Wertes stellt sich wie folgt dar:

$$t = \frac{MW - \mu_0}{s} \times \sqrt{n_j}$$

MW = Mittelwert

μ_0 = Erwartungswert

Die Differenz MW- μ_0 definiert die Abweichung zwischen dem gefundenen Mittelwert (aus n_j Messwerten) und dem Sollwert.

Muss nach diesem Test die Nullhypothese verworfen werden, so kann man vorliegendes Ergebnis auf zweierlei Wegen interpretieren (KAISER UND MÜHLBAUER 1983):

1. Wenn es sich um eine Produktbeurteilung handelt, wird geprüft, ob der experimentell ermittelte Gehalt signifikant vom Sollwert verschieden ist.

2. Wenn es sich um die Frage handelt, ob ein systematischer Messfehler im Verfahren vorliegt, gilt die gleiche Prüfgröße. Nur bei Annahme der Null-Hypothese ist der Sollwertunterschied rein zufällig bedingt.

3.6.1.4 Dosierfehler

Wenn der Variationskoeffizient (Anteil der Standardabweichung am Mittelwert) mehrerer Messwerte gering ist, weichen die Messwerte auch nur um einen relativ kleinen Betrag vom Mittelwert ab. Bei der Beurteilung der Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen dient der Variationskoeffizient oft als diesbezügliches Gütekriterium. Hier bleibt jedoch unberücksichtigt, wie groß die Differenz vom eigentlichen Sollwert ist. Der Dosierfehler (nach SCHOLTYSIK 1982) schließt die Abweichung zwischen Soll- und Mittelwert in die Bewertung mit ein:

$$\text{DF} = (m^* \div ms + \text{SD} \div \text{MW}) \times 100$$
$$m^* = |ms - \text{MW}|$$

MW - Mittelwert
SD - Standardabweichung
ms - Sollwert (Masse oder Konzentration)
 m^* - Sollwertdifferenz (SWD)

3.6.1.5 Messwiederholungen

Werden mehrere Messungen an der gleichen experimentellen Einheit (Person, Pflanze, Maschine usw.) durchgeführt, so tendieren die erhobenen Daten dazu, untereinander korreliert zu sein. Repräsentieren die Messungen qualitativ unterschiedliche Dinge, wie etwa Gewicht, Länge und Breite, so wird dieser Korrelation mit multivariaten Methoden, wie der multivariaten Varianzanalyse, Rechnung getragen. Können die Messungen hingegen als Stufe eines experimentellen Faktors wie „Zeit“, „Behandlung“ oder „Dosis“ aufgefasst werden, so wird die bestehende Korrelation mit der Durchführung einer Varianzanalyse mit Messwiederholungen berücksichtigt.

3.6.2 Statistische Modelle

Für die folgenden statistischen Rechenoperationen mussten zuerst die Grundvoraussetzungen der Varianzhomogenität sowie die Annahme einer Normalverteilung erfüllt werden. Prüfungen der Datenreihen auf Varianzhomogenität wurde mittels Bartlett-Test durchgeführt. Aufgrund des relativ geringen Stichprobenumfangs n wurde die Prüfung auf Normalverteilung über den Kolmogoroff-Smirnoff-Test vollzogen.

3.6.2.1 Einfaktorielle Varianzanalyse

Modellgleichung: $X_{ij} = \mu + a_i + e_{ij}$

X_{ij} = Messwert j bei Gruppe i ;

μ = Erwartungswert von X ;

a_i = Abweichung der Messung X_{ij} von μ , die durch die Gruppe i bedingt ist;

e_{ij} = zufallsbedingte Abweichung der Messung X_{ij} von $\mu + a_i$ ("Messfehler").

3.6.2.2 Zwei- und dreifaktorielle Varianzanalyse

Modellgleichungen:

Zweifaktoriell $X_{ijk} = \mu + a_i + \beta_j + (a\beta_{ij}) + e_{ijk}$

Dreifaktoriell: $X_{ijkl} = \mu + a_i + \beta_j + \gamma_k + (a\beta_{ij}) + (a\gamma_{ik}) + (\beta\gamma_{jk}) + (a\beta\gamma_{ijk}) + e_{ijkl}$

$X_{ijk(l)}$ = Messwert k bzw. l in den Faktorstufen i und j bzw. i , j und k

μ = gemeinsame Konstante für alle X -Werte (Mittelwert Grundgesamtheit)

a_i = unbekannter fester Effekt der Faktorstufe i

β_j = unbekannter fester Effekt der Faktorstufe j

γ_k = unbekannter fester Effekt der Faktorstufe k

$a\beta_{ij}$ = möglicher Interaktionseffekt (= Wechselwirkung)

$a\gamma_{ik}$ = mögliche Wechselwirkung zwischen Faktorstufe i und Faktorstufe k

$\beta\gamma_{jk}$ = mögliche Wechselwirkung zwischen Faktorstufe j und Faktorstufe k

$a\beta\gamma_{ijk}$ = mögliche Wechselwirkung zwischen Faktorstufe i , Faktorstufe j und Faktorstufe k

e_{ijk} = Zufallskomponente von X_{ijk} (Rest)

e_{ijkl} = Zufallskomponente von X_{ijkl} (Rest)

3.6.2.3 Einfache lineare Regression

Modellgleichung: $Y_{ij} = a + b \times x_i + e_{ij}$

Y_{ij} = beobachteter Merkmalswert j der Zufallsvariablen Y unter Einfluss von x_i

a = unbekannte Konstante = Erwartungswert von Y für $x = 0$ (Schnittpunkt mit y -Achse)

b = Regressionskoeffizient = unbekannte Konstante (Parameter), die angibt, um wie viel sich Y im Durchschnitt ändert, wenn sich x um eine Einheit ändert (Steigung der Geraden)

x_i = beobachteter Wert i der Variablen x

e_{ij} = Zufallskomponente (Rest) von Y_{ij} , die weder durch a , noch durch $b \times x$ erklärt werden kann

4 Ergebnisse

4.1 Probenahmeverfahren

Die Entwicklung und Qualitätsprüfung geeigneter Probenahmeverfahren stellt die Grundlage aller weitergehenden Untersuchungen zur Dosierqualität von Flüssigfütterungsanlagen dar. Aufgrund dieser Tatsache kommt diesem Aspekt im Rahmen der experimentellen Untersuchungen eine vorrangige Bedeutung zu.

Die Tabelle 4.1 zeigt die statistischen Bewertungsgrößen für die einzelnen Probenahmeverfahren im Überblick. Die Zeilen sind in die Bewertungsgrößen MW (Mittelwert), s_w (Wiederholstandardabweichung), W (Wiederholbarkeit, siehe 3.6.1.2) und d_m (Richtigkeit: mittlere absolute Differenz zwischen beobachtetem Mittelwert und Sollwert, siehe 3.6.1.3) unterteilt. Zum Merkmal d_m ist das Signifikanzniveau (für $p < 0,05$) angegeben. Der Sollwert ist der aufgrund der Analyse der einzelnen eingesetzten Futtermittel errechnete theoretische Wert für die jeweilige Versuchsmischung.

Das untersuchte Nährstoffprofil der Proben umfasste die Gehalte an Trockenmasse (TM), Rohasche (RA), Rohprotein (RP), Calcium (Ca), Phosphor (P), Kupfer (Cu) und Zink (Zn).

4.1.1 Handentnahme

4.1.1.1 Einfluss der Behälterform

Die Behälterform hat bei der Handentnahme von Flüssigfutterproben einen sichtbaren Einfluss auf die Güte der Probenahme. Anhand der Ergebnisse aus Tabelle 4.1 wird deutlich, dass die Handentnahme aus einer runden Tonne mit hohem Flüssigkeitsstand der Handentnahme aus der flachen Rechtecktonne überlegen ist. Mit Ausnahme der Ergebnisse bei den Spurenelementen Kupfer und Zink weisen die Wiederholstandardabweichungen und die mittleren Differenzen eine klare Tendenz zugunsten der Rundtonne aus. Die Abbildungen 4.1 bis 4.10 zeigen die gruppenzugehörigen Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen analysierten Fraktionen im Vergleich zwischen Rundtonne und Rechtecktonne.

Tabelle 4.1: Bewertung der einzelnen Probenahmeverfahren

Verfahren	TM-%	RA-% i.d. TM	RP-% i.d. TM	Ca [g/kg TM]	P [g/kg TM]	Cu [mg/kg TM]	Zn [mg/kg TM]
Handentnahme Rechtecktonne (n = 18)							
MW	21,65	5,99	22,10	8,44	7,76	31,97	184,0
s_w absolut	0,31	0,15	0,29	0,47	0,12	0,75	7,0
W	0,93	0,44	0,88	1,42	0,36	2,25	21,2
d_m absolut	-0,68*	0,10*	1,44*	0,10	-1,49*	3,19*	9,1*
Handentnahme Rundtonne (n = 24)							
MW	21,92	5,65	20,96	7,86	7,40	29,17	193,3
s_w absolut	0,20	0,20	0,23	0,27	0,07	1,08	7,5
W	0,58	0,59	0,68	0,81	0,20	3,20	22,2
d_m absolut	-0,19*	-0,09*	1,05*	0,07	0,25*	2,23*	30,2*
Probenmessstab, laufendes Rührwerk, ganzer Stab (n = 4)							
MW	22,06	6,24	21,18	9,37	7,74	41,83	229,2
s_w absolut	0,04	0,11	0,10	0,22	0,08	2,24	8,2
W	0,19	0,51	0,29	0,97	0,36	10,06	37,1
d_m absolut	-0,22*	0,63*	-0,02	1,94*	0,27*	1,71	43,1*
Probenmessstab, stehendes Rührwerk, ganzer Stab (n = 4)							
MW	21,92	6,11	21,14	10,09	7,89	41,14	233,9
s_w absolut	0,02	0,12	0,05	0,34	0,10	1,55	8,5
W	0,08	0,54	0,24	1,55	0,46	6,97	38,3
d_m absolut	-0,07*	0,50*	0,02	1,23*	0,12	2,40	38,4*
Probenmessstab, laufendes Rührwerk, Kammern (n = 20)							
MW	21,92	6,09	20,83	9,34	7,75	45,46	237,7
s_w absolut	0,15	0,16	0,29	0,51	0,12	1,02	11,9
W	0,45	0,47	0,85	1,51	0,36	3,01	35,2
d_m absolut	-0,22*	0,48*	-0,33*	1,20*	0,13*	6,03*	47,0*
Probenmessstab, stehendes Rührwerk, Kammern (n = 20)							
MW	22,06	5,94	20,80	9,27	7,59	44,98	227,9
s_w absolut	0,08	0,08	0,24	0,26	0,07	1,44	12,9
W	0,24	0,25	0,71	0,76	0,20	4,26	38,2
d_m absolut	-0,07*	0,33*	-0,36*	1,16*	-0,02	2,62*	37,2*
Laborprobenteiler PTF (n = 32)							
MW	21,96	6,10	21,79	9,21	7,64	33,29	218,9
s_w absolut	0,45	0,20	0,23	0,27	0,06	0,99	7,1
W	1,30	0,58	0,66	0,77	0,18	2,86	20,5
d_m absolut	-0,37*	0,21*	1,13*	0,87*	-0,03*	4,51*	44,0*
Radprobenteiler Landwirtschaftskammer Münster, bewegte Futtersäule (n = 24)							
MW	20,86	5,40	21,86	7,53	7,86	43,28	210,3
s_w absolut	0,43	0,21	0,50	0,34	0,17	0,91	5,1
W	1,26	0,61	1,47	0,98	0,51	2,67	14,9
d_m absolut	-1,27*	0,00	0,70*	-0,61*	0,24*	3,85*	19,6*
Radprobenteiler Landwirtschaftskammer Münster, stehende Futtersäule (n = 24)							
MW	21,49	5,65	20,06	n.u. ¹	n.u.	n.u.	n.u.
s_w absolut	0,04	0,03	0,37	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.
W	0,12	0,08	1,09	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.
d_m absolut	-0,76*	-0,01	-0,82*	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.
Analysenspielraum (Buchholz et al. 1996)							
	2,0% R		2,5% R	10% R.			15% R
absolut	f. Feuchte	0,4%	0,55%	0,8 g/kg	0,6 g/kg	7,5 mg/kg	<30 mg/kg

* = signifikant; n.u. = nicht untersucht

In der Trockenmasse ergibt sich bei der Handentnahme aus der Rundtonne mit einer absoluten Wiederholstandardabweichung von 0,20 eine geringere Streuung der Einzelwerte (Tabelle 4.1) im Vergleich zu der Entnahme aus der Rechtecktonne (s_w von 0,31). Ebenso weichen die Messwerte bei der Handentnahme aus der Rechtecktonne mit einer mittleren absoluten Differenz von d_m -0,68 deutlich von dem Sollwert ab.

Bei der Rundtonne ist hingegen die mittlere absolute Differenz von d_m -0,19 als vergleichsweise gering zu bewerten und kann bei einer Wiederholstandardabweichung S_w von 0,2 % mit dem Analysenfehler absolut vereinbart werden.

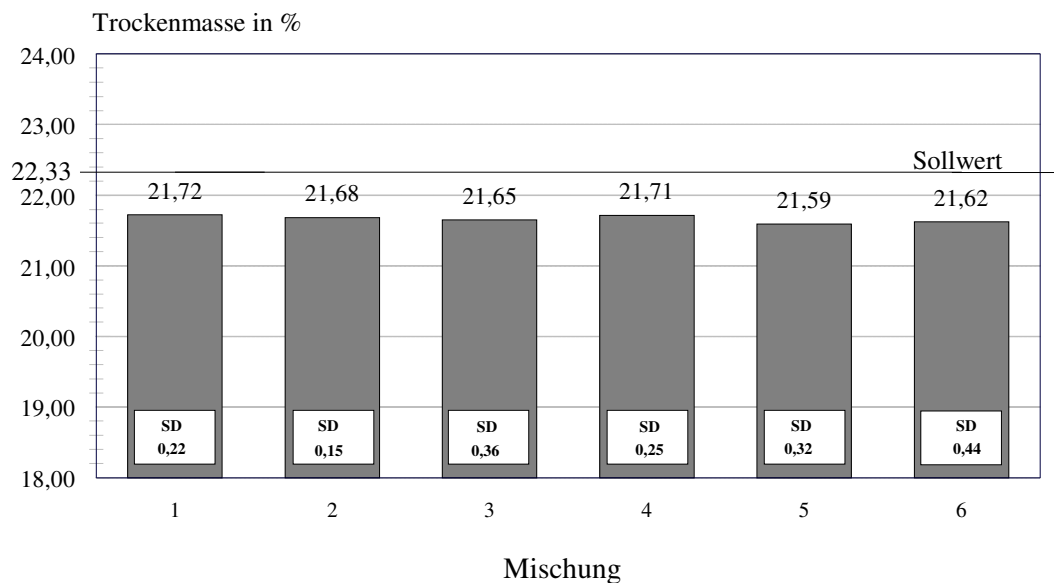


Abbildung 4.1: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (TM)

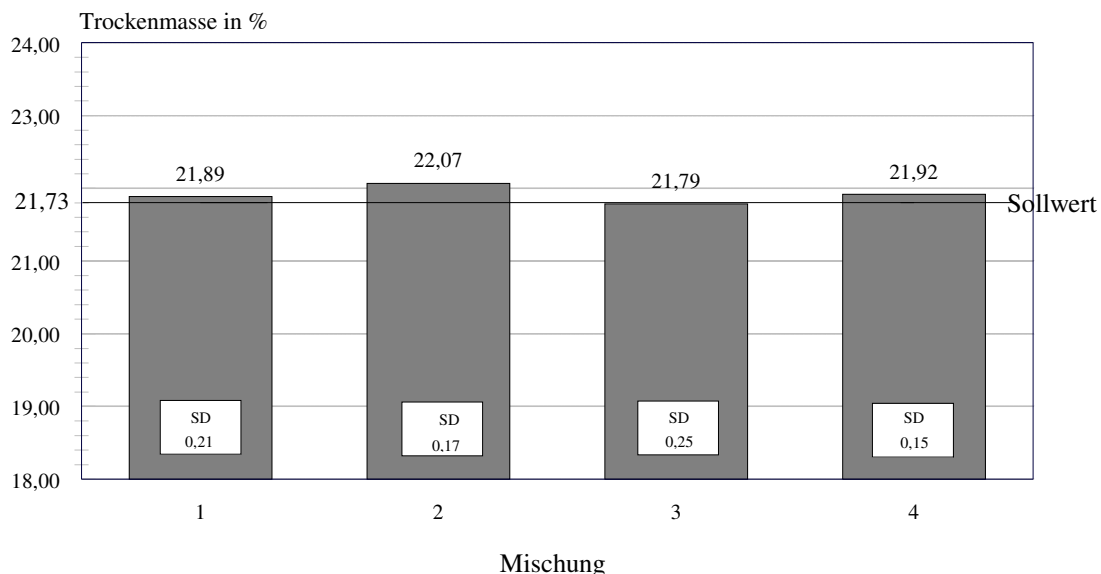


Abbildung 4.2: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rundtonne (TM)

Rohasche:

Bei der Rohasche stellen sich die Ergebnisse der Handentnahme bei Rechteck- und Rundtonne ähnlich dar (siehe Tabelle 4.1). Die mittlere absolute Differenz zum Sollwert war in beiden Varianten relativ gering und lag deutlich unter dem Analysenfehler.

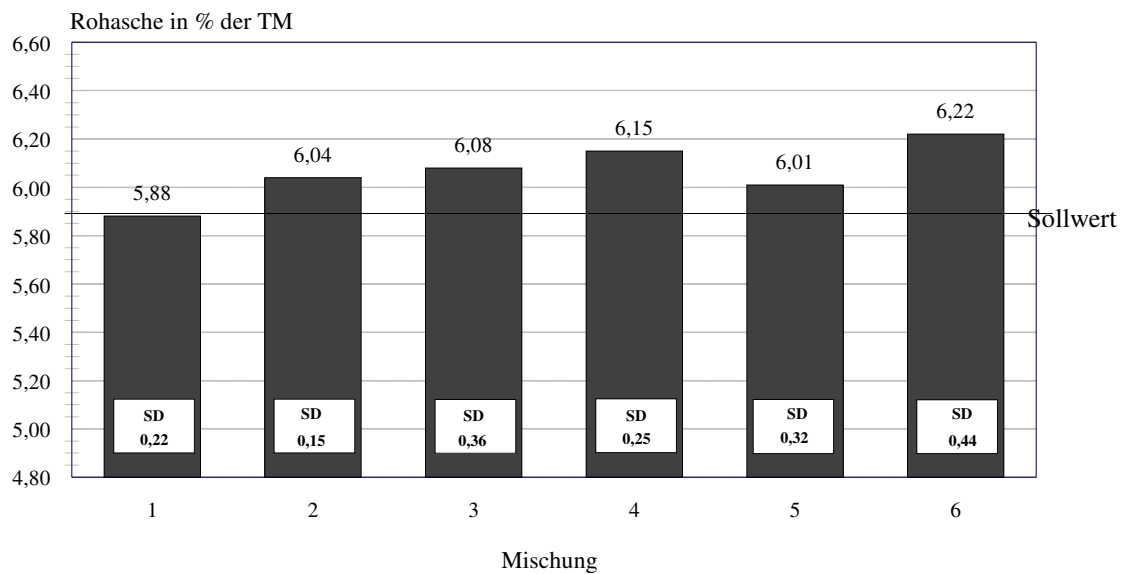


Abbildung 4.3: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (RA)

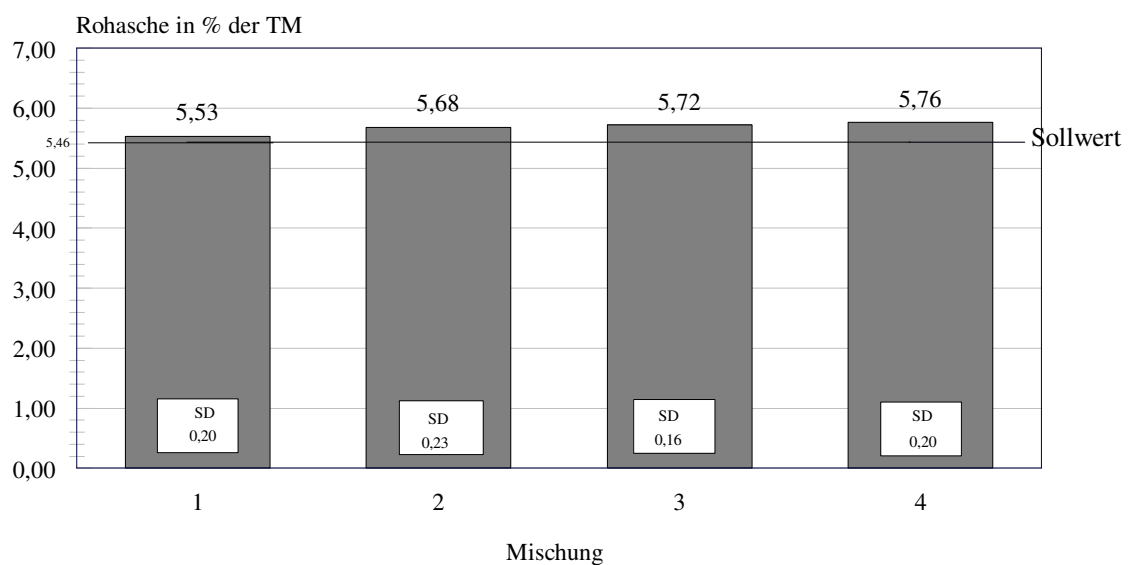


Abbildung 4.4: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rundtonne (RA)

Mengenelemente:

Wie aus Tabelle 4.1 zu entnehmen ist, lassen die Ergebnisse bei den Mineralstoffen Ca und P ebenfalls eine eindeutige Tendenz zugunsten der Handentnahme aus der Rundtonne erkennen. Die absolute Wiederholbarkeit liegt bei der Rundtonne sowohl für Calcium mit 0,81 g/kg TM als auch für Phosphor mit 0,20 g/kg TM im Bereich des Analysenspielraums.

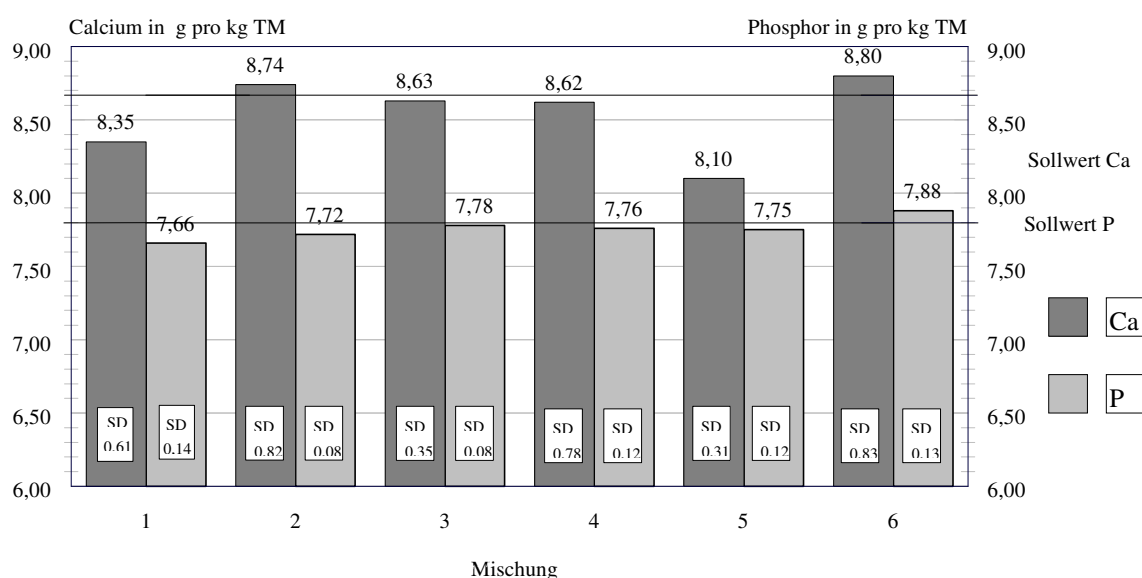


Abbildung 4.5: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (Ca und P)

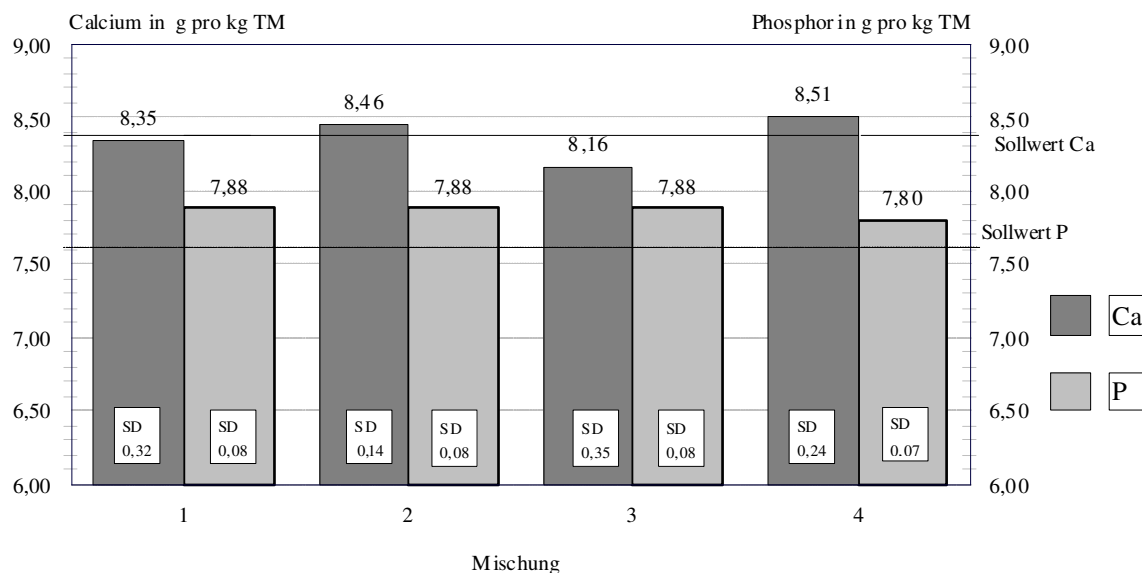


Abbildung 4.6: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rundtonne (Ca und P)

Bei der Rechtecktonne hingegen ist die Wiederholbarkeit für die Mengenelemente mit 1,42 g/kg TM bei Calcium nicht ausreichend und mit 0,36 g/kg TM bei Phosphor im Bereich des Analysenspielraums. Beim Phosphor besteht durch die signifikante mittlere absolute Differenz von -1,49 g/kg TM eine ungenügende Richtigkeit für die Probenahme aus dem rechteckigen Behälter.

Spurenelemente:

Einheitlich stellen sich die Ergebnisse bei den Spurenelementen Zink und Kupfer dar (siehe Abbildung 4.7 und Abbildung 4.8). Auch wenn die Handentnahme aus Rechteck- und Rundtonne bei Kupfer mit 3,19 mg/kg TM beziehungsweise 2,23 mg/kg TM vom Sollwert abweichende Konzentrationen ergab, liegen diese Werte innerhalb des Analysenspielraums. Bei Zink ist die Richtigkeit der Werte bei der Probenahme aus der Rechtecktonne mit einem Dosierfehler von 9,1 mg/kg TM sehr hoch. Die absolute mittlere Differenz weist hingegen bei der Entnahme aus dem runden Anmischbehälter mit 30,2 mg/kg TM eine höhere Abweichung auf. Dies dürfte sich zum einen mit der niedrigen Wiederholstandardabweichung und zum anderen mit einem zufälligen Fehler in der Sollwertbestimmung erklären.

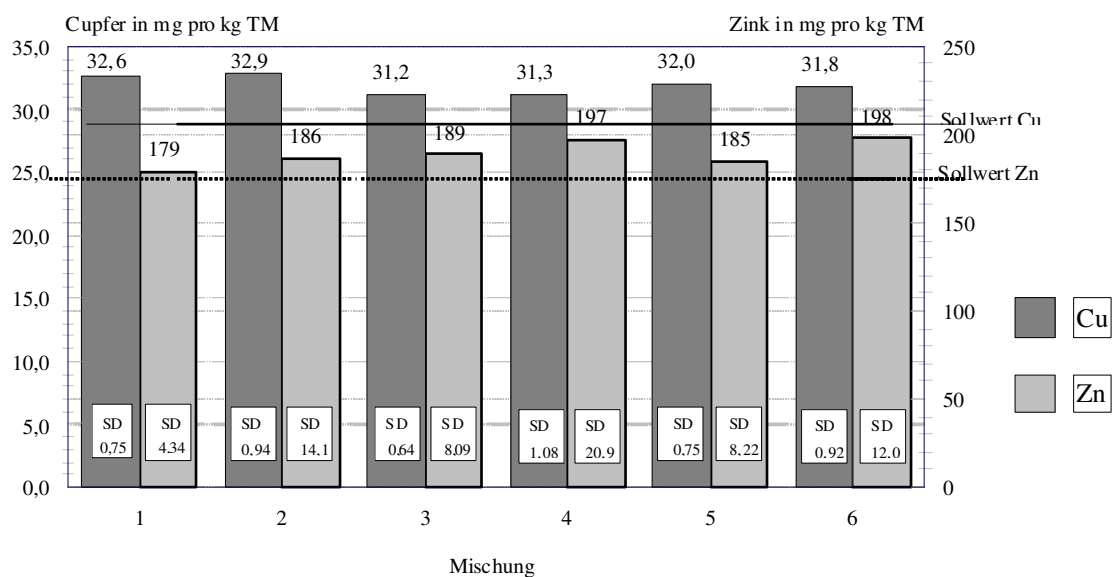


Abbildung 4.7: Messgenauigkeit Handentnahme, Rechtecktonne (Cu und Zn)

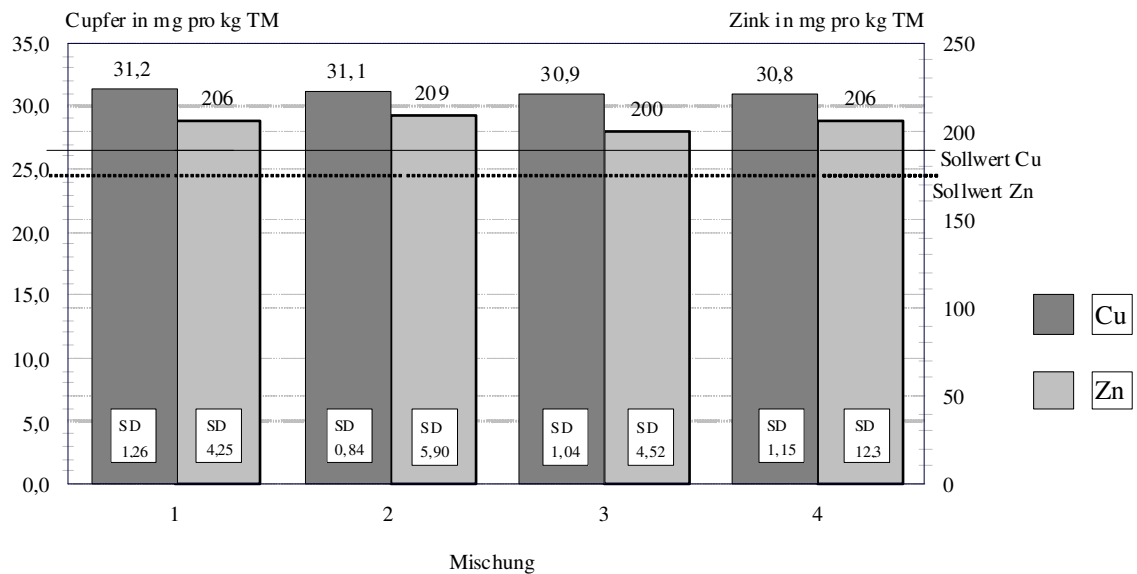


Abbildung 4.8: Messgenauigkeit Handentnahme, Rundtonne (Cu und Zn)

Rohprotein:

Ähnlich zu den bisher geschilderten Ergebnissen stellen sich die statistischen Daten für Rohprotein dar (siehe Abbildung 4.9 und Abbildung 4.10). Obwohl weder bei der Handentnahme aus dem runden noch aus dem eckigen Behälter die Anforderungen vollständig erfüllt werden, erweist sich die Probenahme aus dem runden Anmischbehälter überlegen.

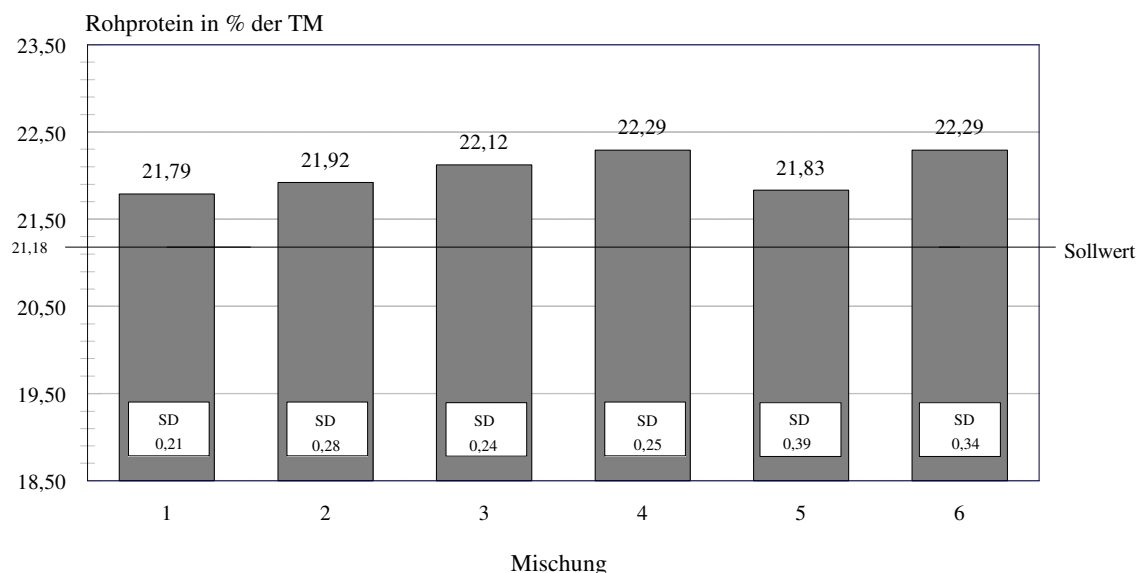


Abbildung 4.9: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (RP)

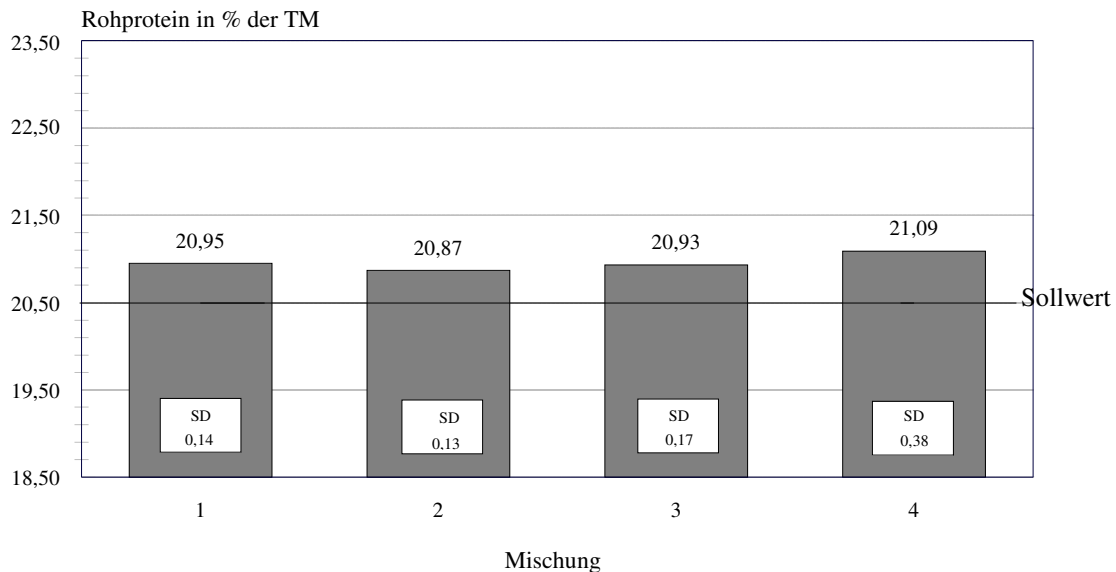


Abbildung 4.10: Messgenauigkeit Handentnahme, Rundtonne (RP)

Mit einer absoluten Wiederholbarkeit von 0,68 ist die Rundtonne der Rechtecktonne (W von 0,88) überlegen. Auffällig ist für beide Verfahren die Richtigkeit der analysierten Werte. Die statistisch gesicherte absolute mittlere Differenz liegt mit 1,44 bei der Rechteck- beziehungsweise mit 1,05 bei der Rundtonne jeweils außerhalb des Analysenspielraums.

4.1.1.2 Einfluss des Probennehmers

Die Varianzanalyse für die einzelnen Probennehmer (vier Wiederholungen je Probennehmer) bei der Handentnahme aus der Rundtonne ergab fast keine signifikanten Mittelwertunterschiede zwischen den sechs Personen. Lediglich bei der Kupferanalyse waren die Ergebnisse eines Probennehmers signifikant verschieden von den Resultaten der anderen Probennehmer. Aus den Abbildungen 4.11 bis 4.15 wird aber deutlich, dass bei den einzelnen Probennehmern sehr unterschiedliche Werte für die Standardabweichung (SD) vorliegen. Die einzelnen Probennehmer-Standardabweichungen für die jeweils untersuchten Inhaltsstoffe zeigen deutlich auf, dass die zufälligen Fehler bei den Probennehmern 3, 4 und 5 zum Teil um ein Vielfaches höher liegen als bei den Probennehmern 1, 2 und 6. Ein Erklärungsansatz für die Ab- und Zunahme der zufälligen Fehler besteht darin, dass erstgenannte Probennehmer keine konkreten Anweisungen zur Probenahme bekamen, wohingegen die Personen 1, 2 und 6 die Probenahme in dieser Form schon wiederholt durchgeführt hatten.

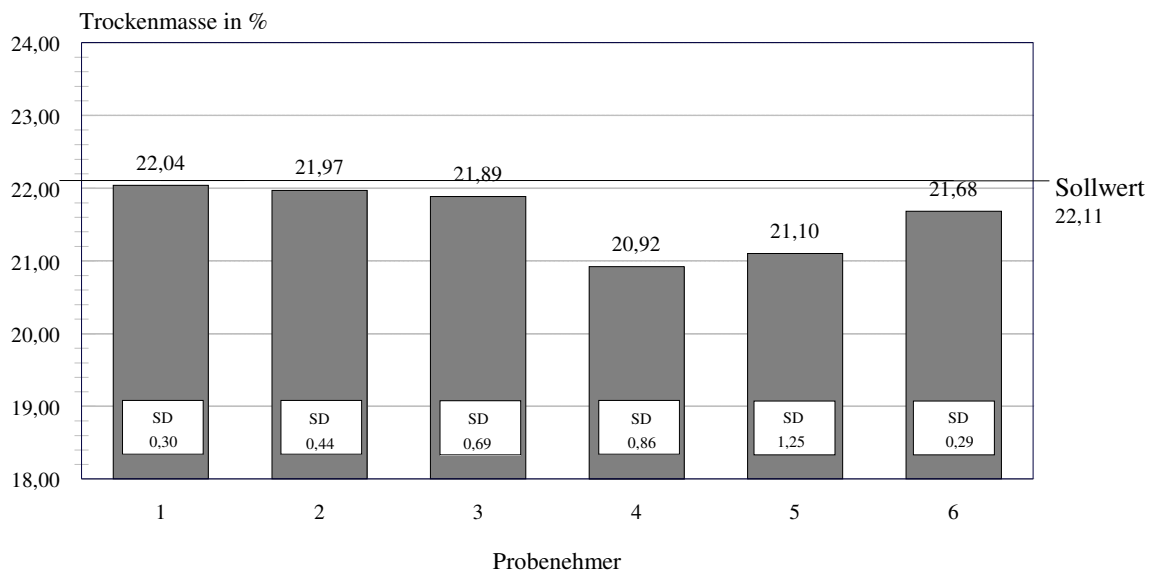


Abbildung 4.11: Genauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (TM)

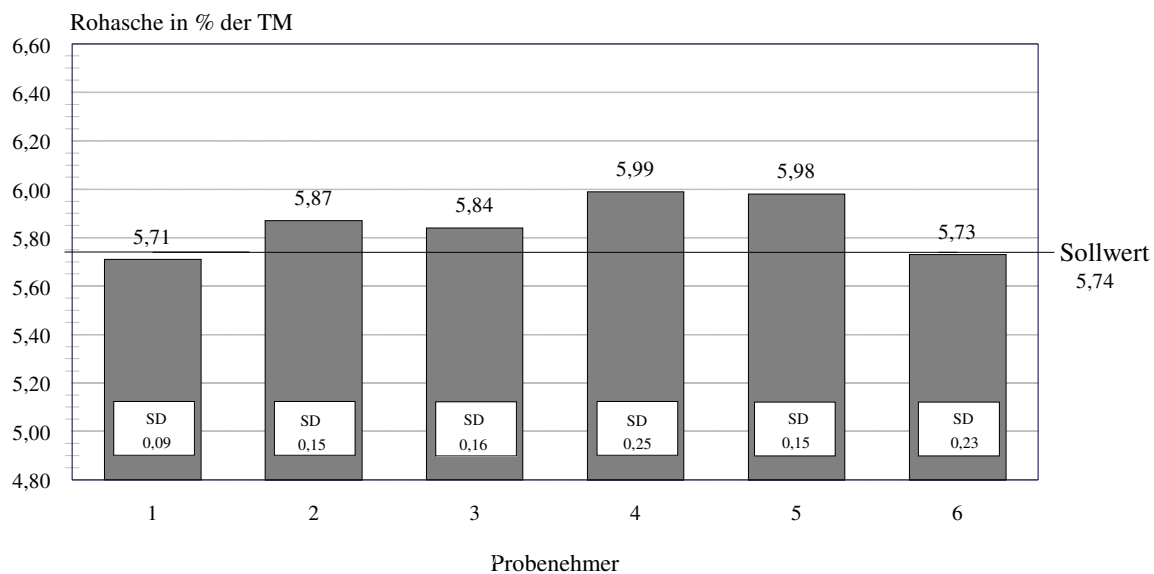


Abbildung 4.12: Genauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (RA)

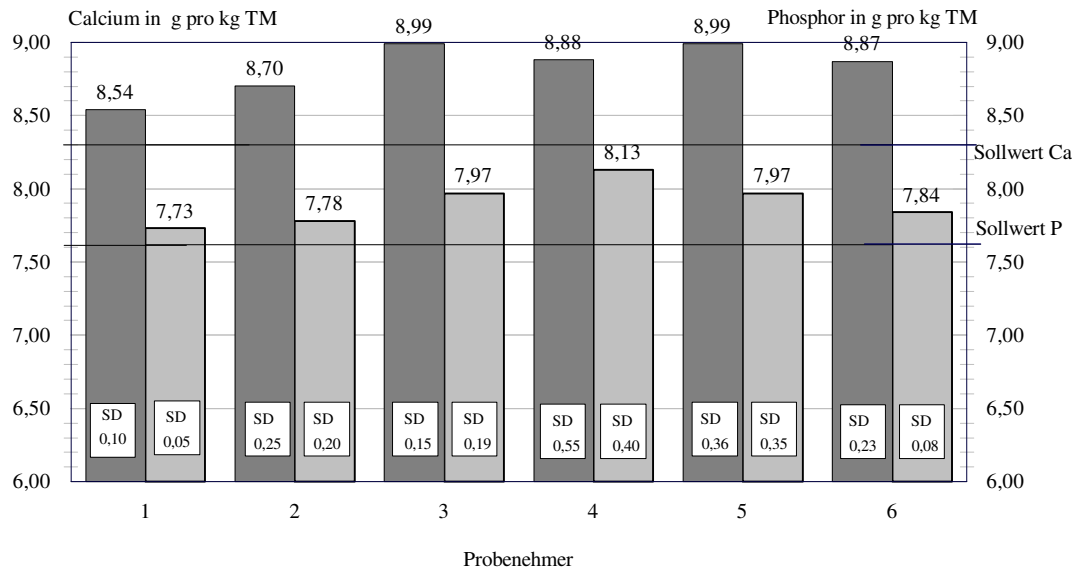


Abbildung 4.13: Genauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (Ca und P)

Die „geübten“ Probenehmer 1, 2 und 6 konnten dank ihrer Routine bei der Handentnahme tendenziell bessere Ergebnisse erzielen. Dies zeigt sich zum einen in der Richtigkeit der Werte in Form einer geringen mittleren absoluten Differenz zum Sollwert, zum anderen durch den kleineren Zufallsfehler in Form der Standardabweichung für die einzelnen Probenehmer.

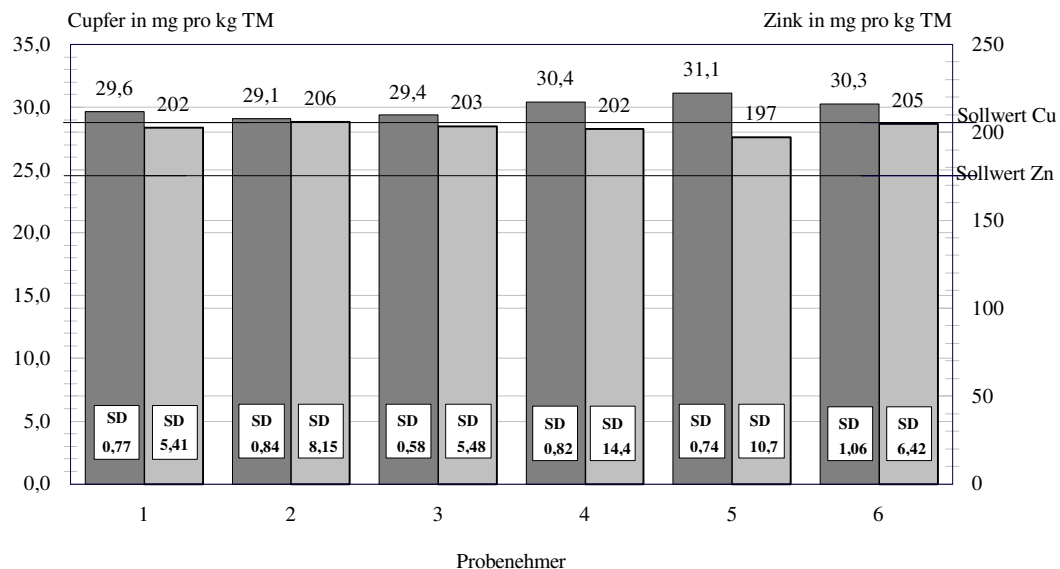


Abbildung 4.14: Genauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (Cu und Zn)

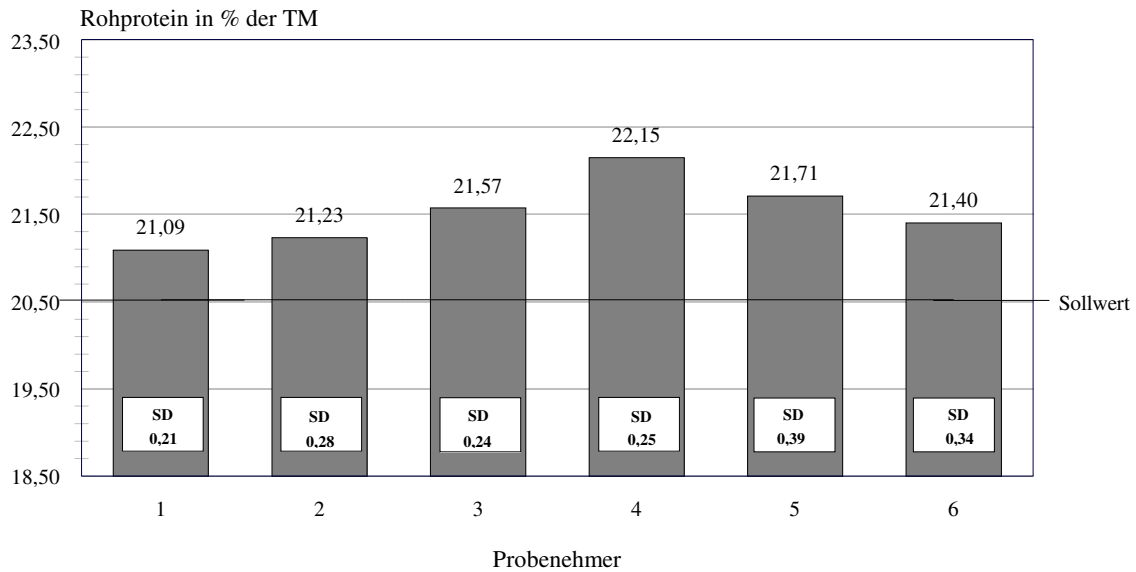


Abbildung 4.15: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (RP)

4.1.1.3 Einfluss der Probenmenge

Bei der Handentnahme aus Rechtecktonnen wurde mit fünf verschiedenen Volumina der Probennahmegefäße in vierfacher Wiederholung gearbeitet, um einen denkbaren Einfluss der Probenmenge auf die Messergebnisse zu untersuchen. Die Varianzanalyse ergab nur bei der Phosphoranalyse einen signifikanten Unterschied zwischen 0,25 L und den übrigen Probenbehältnissen. Auch bei den Standardabweichungen für die einzelnen Probenvolumina treten nur geringfügige Differenzen auf (siehe Abbildung 4.16 bis 4.20). Die Gruppenstandardabweichungen für die jeweiligen Inhaltsstoffe entsprechen annähernd den Wiederholstandardabweichungen der standardisierten Becherhandentnahme. Ein Einfluss der Probenmenge lässt sich somit nicht nachweisen.

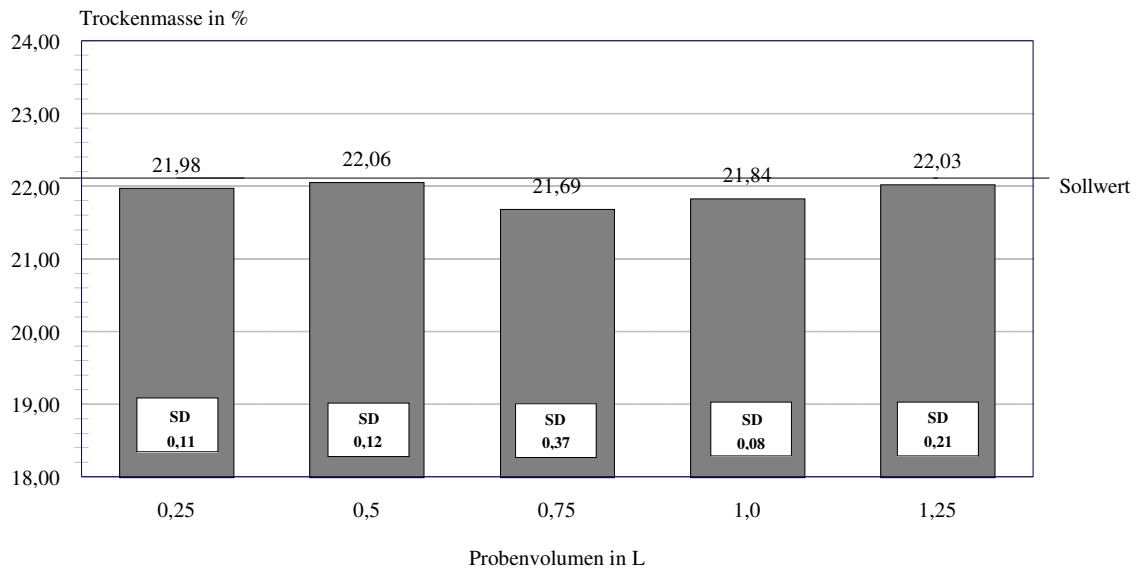


Abbildung 4.16: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (TM)

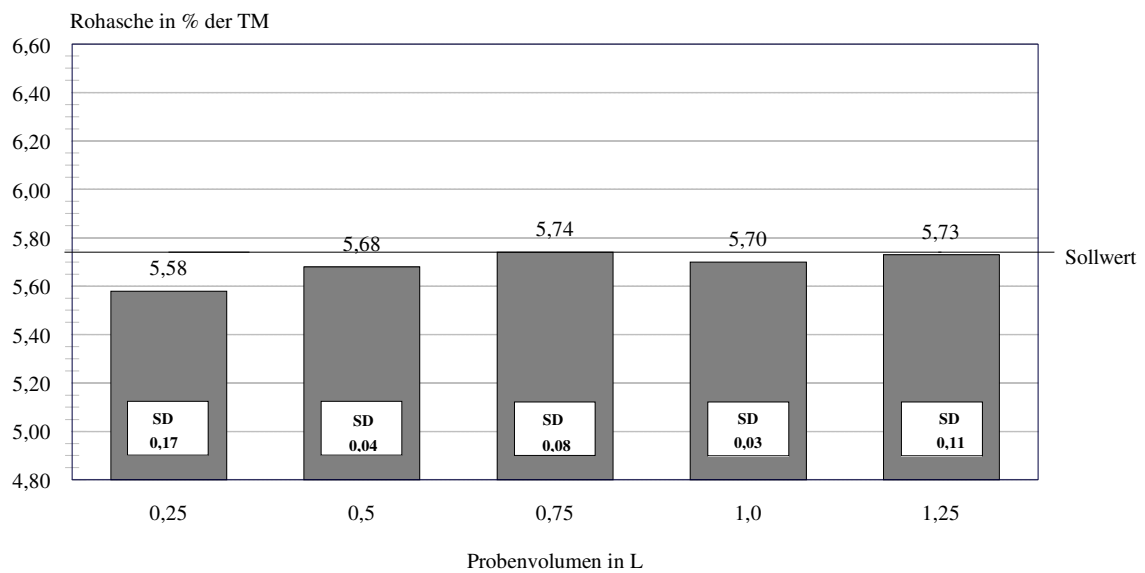


Abbildung 4.17: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina: RA

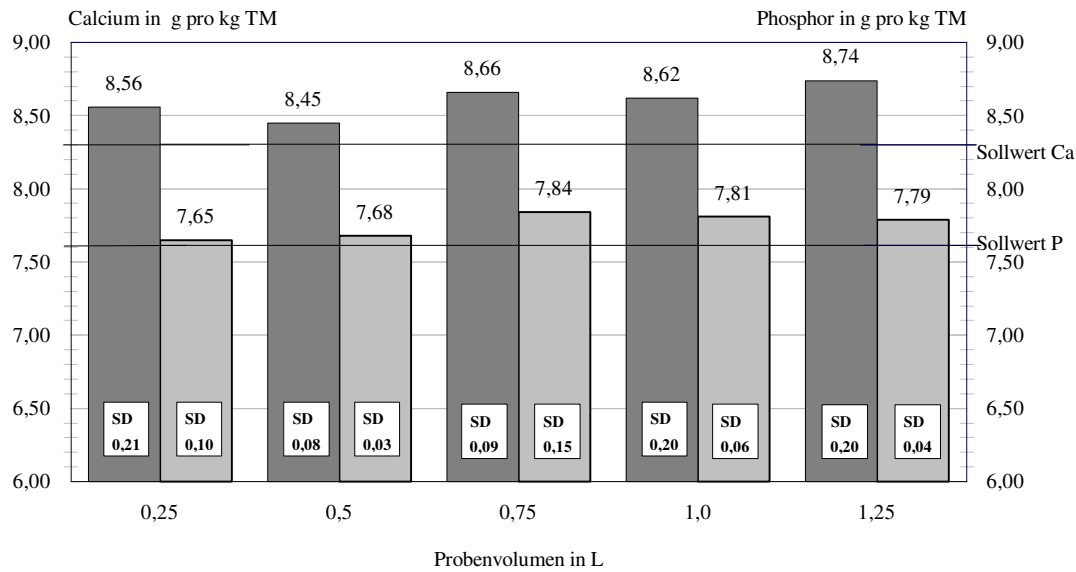


Abbildung 4.18: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (Ca und P)

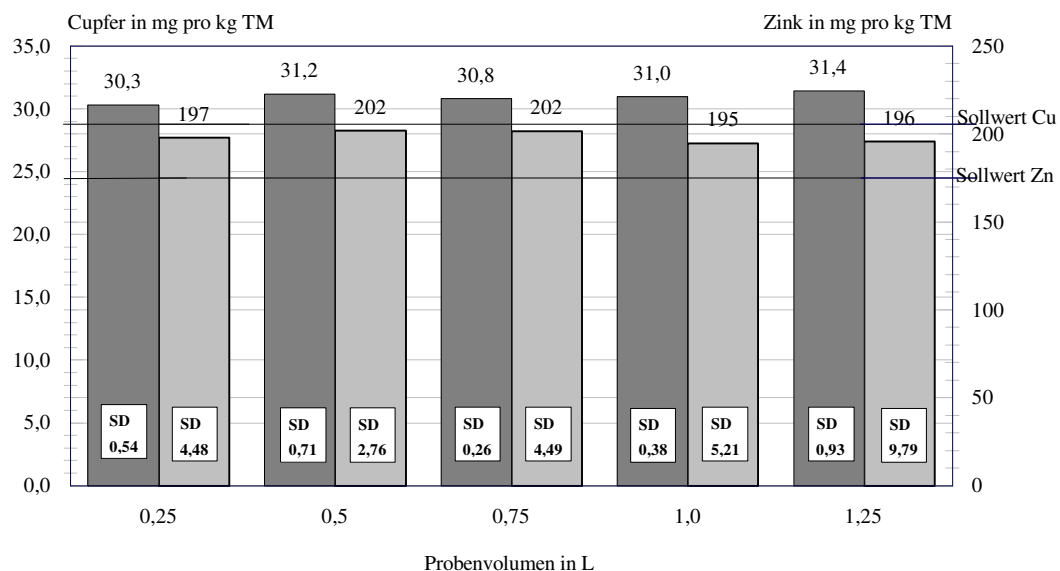


Abbildung 4.19: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (Cu und Zn)

Hervorzuheben sind auch die durchweg guten Übereinstimmungen der Messwerte mit den Sollwerten. Die Abweichungen von den Sollwerten liegen in der Regel innerhalb des Analysenspielraums. Für den Trockenmassegehalt beträgt der Sollwert 22,1 %, der Gesamtmittelwert liegt mit 21,9 % innerhalb des Analysenspielraums. Ähnlich verhält es sich auch für den Rohaschegehalt; hier differieren die Mittelwerte für alle Durchgänge von 5,58 bis zu 5,74 % Rohasche in der Trockenmasse nur geringfügig vom Sollwert. Beim Phosphorgehalt ist der Unterschied zwischen erwartetem und tatsächlichem Gehalt ebenfalls gering; auch bei Calcium kann die Differenz toleriert werden.

Für Rohprotein, Kupfer und Zink liegen die analysierten Werte zwar durchweg höher als der Sollwert, doch hält sich die Sollwertüberschreitung etwa im Rahmen des Analysenspielraums (Tabelle 4.1).

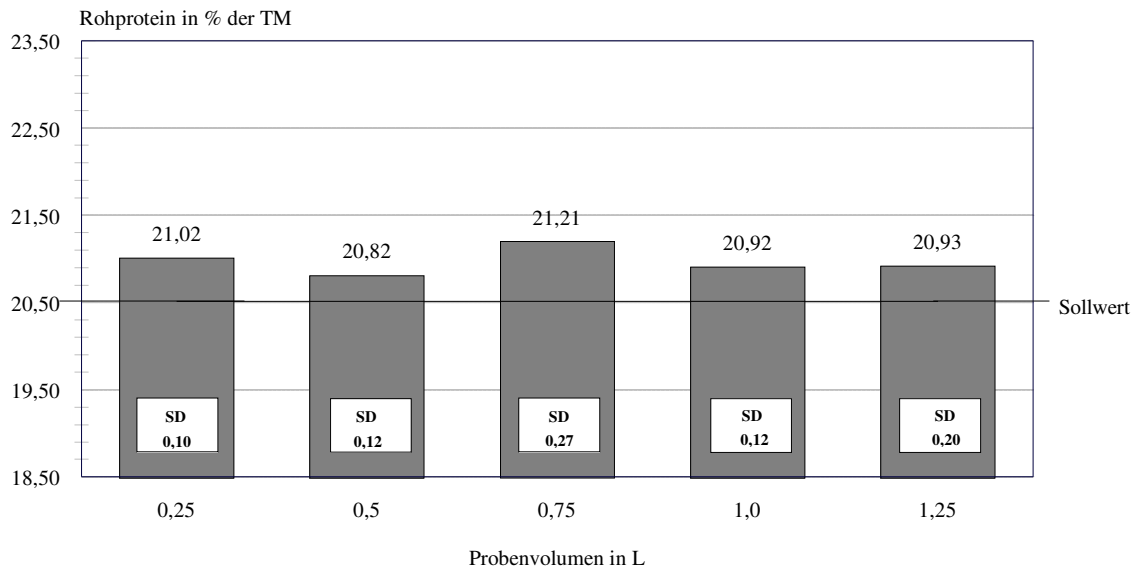


Abbildung 4.20: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (RP)

4.1.2 Probenmessstab

Der Probenmessstab kann, wie auch schon in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, unterschiedlich eingesetzt werden. Zum einen dient der Probenmessstab dazu, eine repräsentative Probe aus einer größeren Menge Flüssigfutter zu ziehen, zum anderen erlaubt er durch seine Unterteilung in Kammern, die Verteilung einzelner Nährstoffe in unterschiedlichen Schichthöhen zu untersuchen.

4.1.2.1 Einfluss des Rührwerks auf die Probenahme

Wie schon unter 3.3.2 erwähnt, ist nicht bei jedem laufenden Rührwerk eine gefahrlose Probenahme mit dem Probenmessstab möglich. In der vorliegenden Arbeit war diese Probenahme auf die Anlage 1 mit dem Propellerkranzrührwerk begrenzt (vergleiche Abbildung 3.5). Die Probenahme mit dem ganzen Stab im Vergleich von laufendem und stehendem Rühraggregat ergaben signifikante Unterschiede sowohl beim Trockenmasse- ($< 0,001$) als auch beim Calciumgehalt ($< 0,05$). Die Wiederholstandardabweichungen bei beiden Versionen (Tabelle 4.1) sind überwiegend vergleichbar.

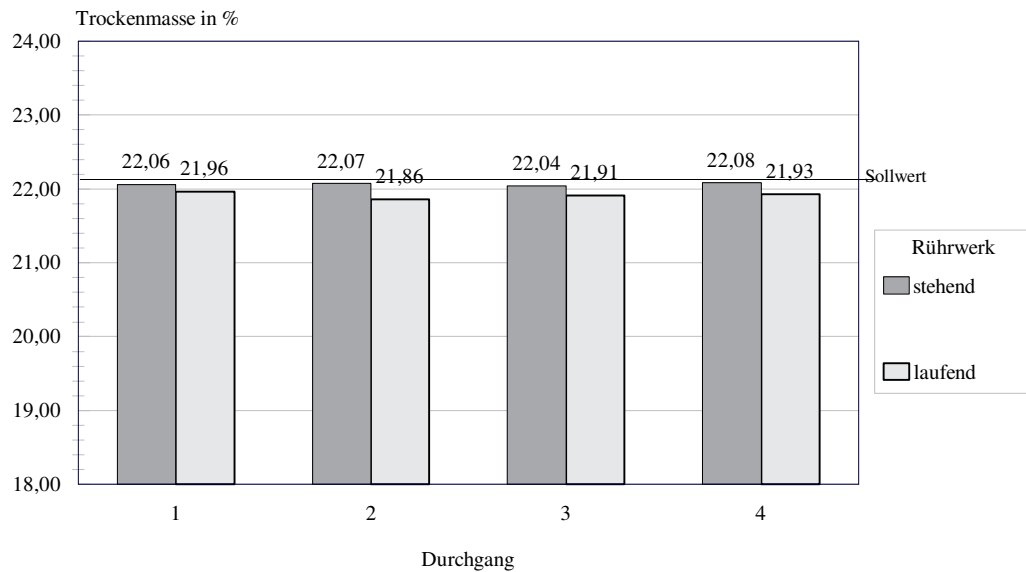


Abbildung 4.21: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (TM)

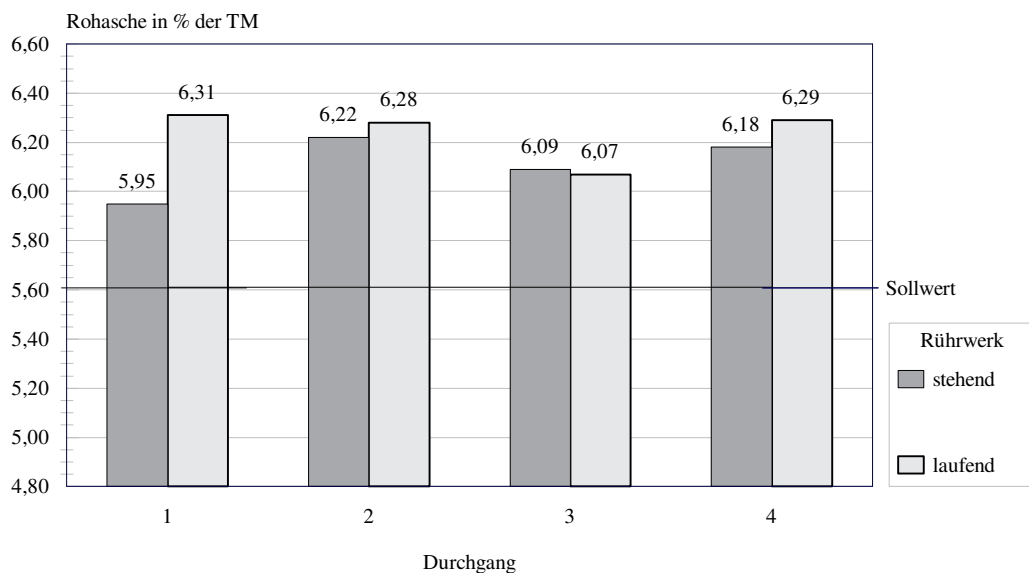


Abbildung 4.22: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (RA)

Die mittleren absoluten Differenzen (d_m) in Tabelle 4.1 sind für den Trockenmassegehalt minimal. Bei stehendem Rührwerk zeigten sich die geringsten Abweichungen. Für den Rohaschegehalt ergab sich bei beiden Rührwerksvarianten eine relativ hohe Abweichung zum Sollwert. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich für den Calciumgehalt, die Differenz zwischen Ist- und Sollwert beträgt 1,94 beziehungsweise 1,23 g/kg TM. Dies lässt den Schluss zu, dass der Unterschied auf einen systematischen Fehler zurückzuführen ist. Eine Erklärung könnte die Bildung eines Bodensedimentes im Anmischbehälter sein. Geringere mittlere absolute Differenzen treten beim Phosphor- und beim Rohproteingehalt auf. Die Sollwertabweichungen bei Kupfer und Zink liegen ebenfalls innerhalb des tolerierbaren Rahmens.

Die experimentell ermittelten Einzelwerte für die vier Durchgänge sind in den Abbildungen 4.21 bis 4.27 dargestellt.

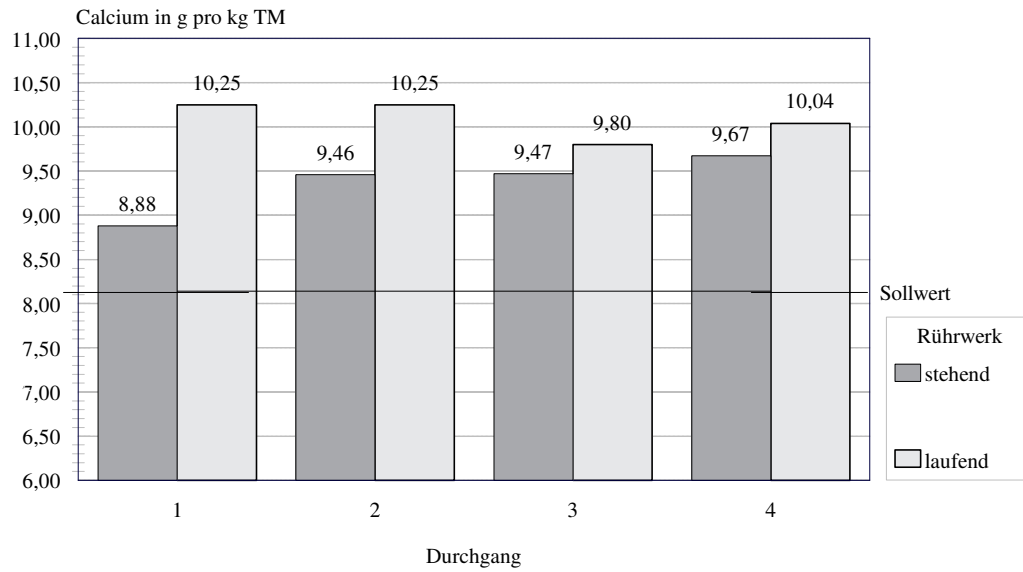


Abbildung 4.23: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (Ca)

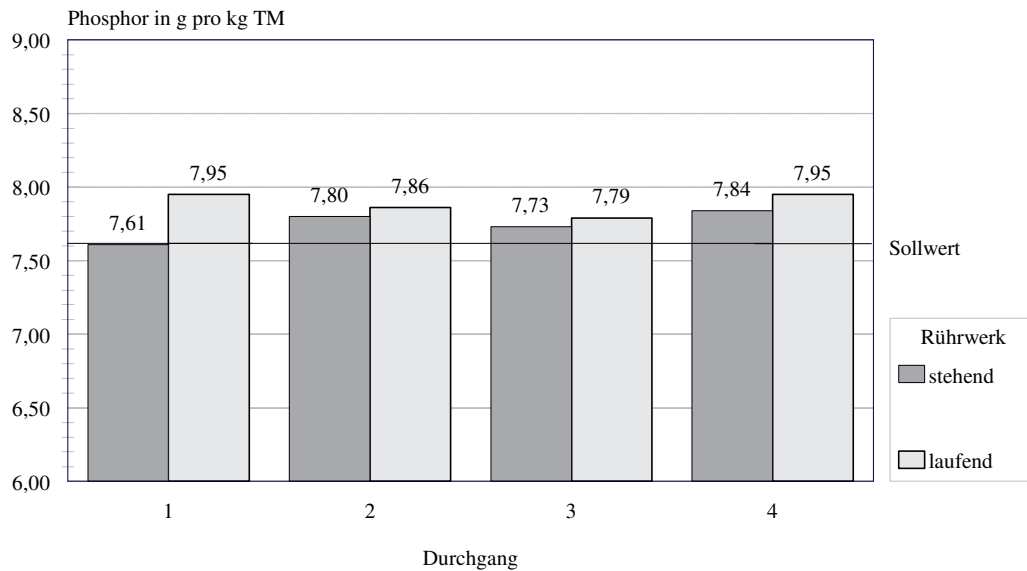


Abbildung 4.24: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (P)

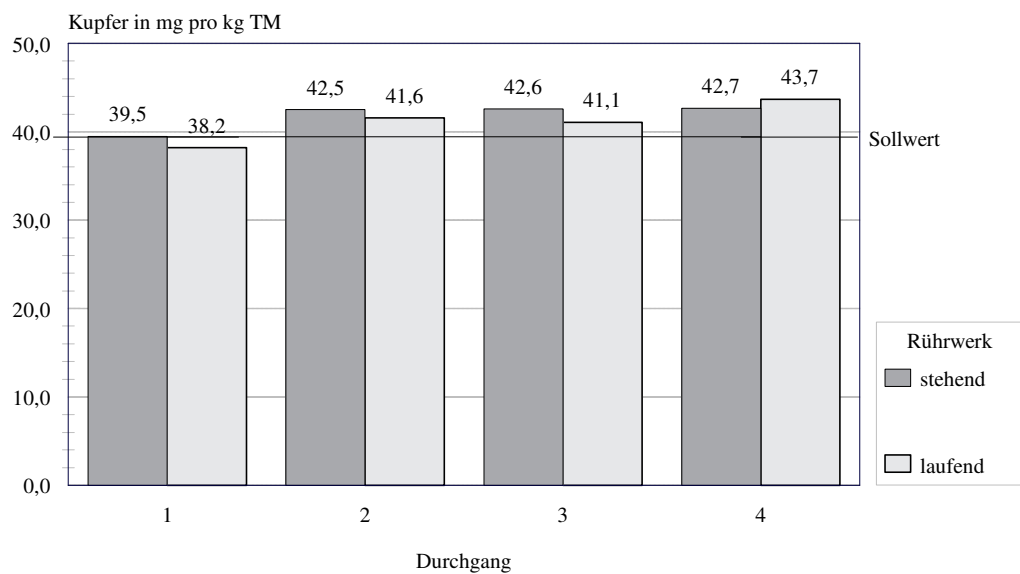


Abbildung 4.25: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (Cu)

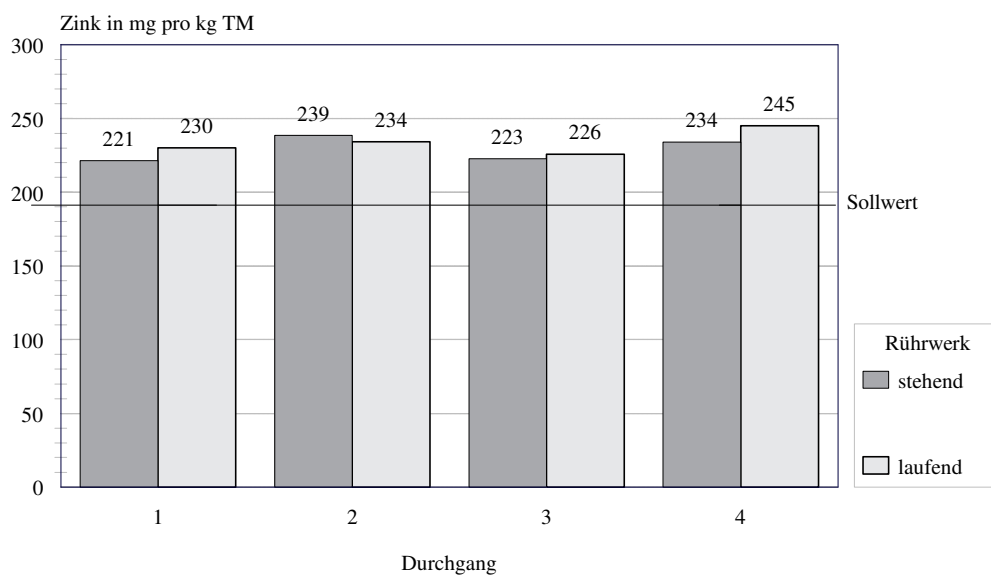


Abbildung 4.26: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (Zn)

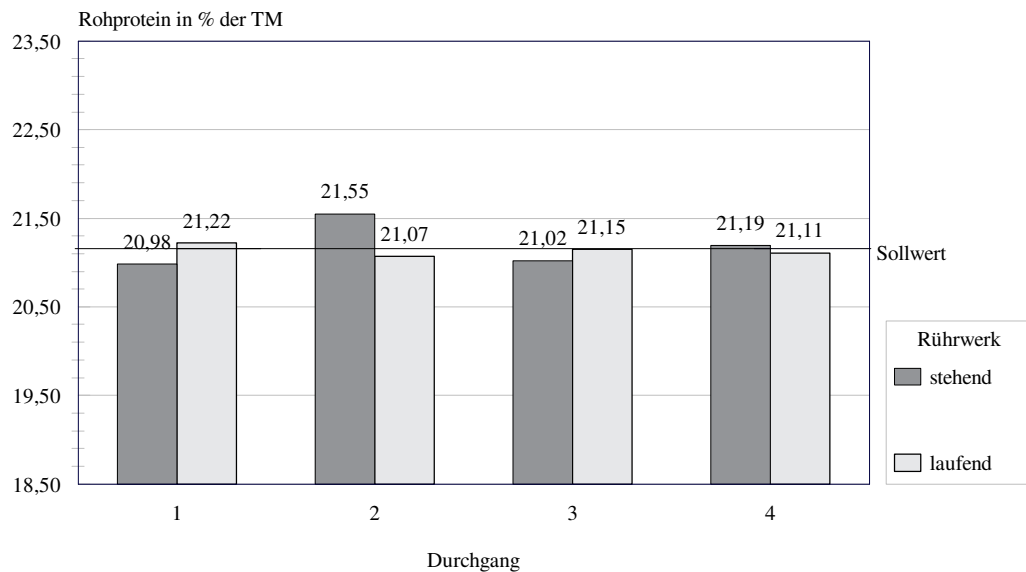


Abbildung 4.27: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (RP)

4.1.2.2 Homogenität der Futtersuppe im Anmischbehälter

Die Unterteilung des Probenmessstabes in fünf Kammern mit je zwei Einlauföffnungen bietet eine optimale Möglichkeit, eine Aussage über die Homogenität der Futtersuppe in unterschiedlichen Schichthöhen zu treffen. Ziel dieses Versuchsabschnittes war es zu untersuchen, inwieweit sich durch Entmischungen verursachte Konzentrationsunterschiede in den verschiedenen Entnahmehöhen nachweisen lassen. Sedimentationen führen gerade in den oberen Schichten des Futterbreies zu einer Konzentrationsabnahme an Nähr- und Wirkstoffen. Die Abbildungen 4.28 bis 4.34 zeigen die in den Untersuchungen gewonnen Messdaten für die analysierten Inhaltsstoffe in den Kammern 1 bis 5. Kammer 1 repräsentiert die oberste Flüssigkeitsschicht und dementsprechend Kammer 5 die unterste. In diesen Untersuchungen wurde beim Mischvorgang der Bypass zum Umpumpen des Futterbreies betrieben.

Die Varianzanalyse der Trockenmassegehalte ergab höchst signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) zwischen den einzelnen Kammern sowohl bei stehendem als auch bei laufendem Rührwerk. War es bei stehendem Rührwerk Kammer 5, die signifikant ($p < 0,05$) von den übrigen abwich, zeigte sich bei laufendem Rührwerk ein deutlich geringerer Trockenmassegehalt in der obersten Kammer. Während beim stehenden Rührwerk sonst keine signifikanten Unterschiede festzustellen waren, ergab sich bei laufendem Rührwerk ein signifikant höherer Kupfergehalt in Kammer 1.

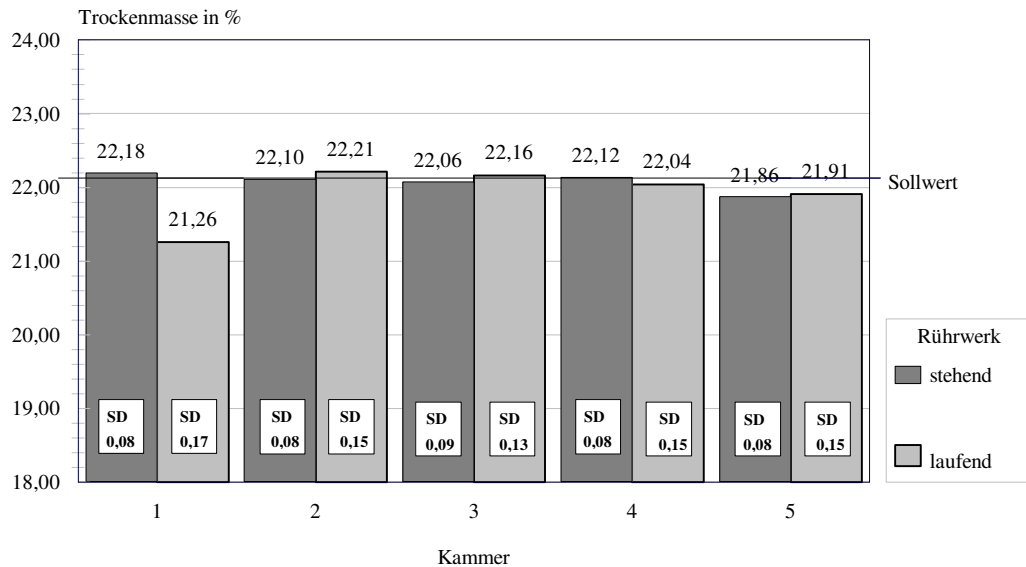


Abbildung 4.28: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (TM)

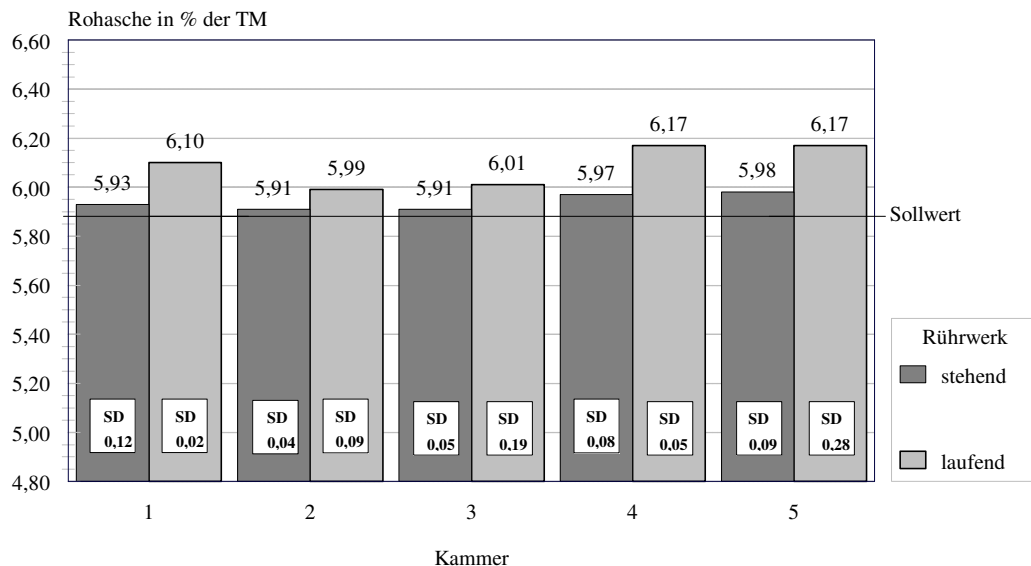


Abbildung 4.29: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (RA)

Als Ergebnis der Untersuchungen der Homogenität der Futtersuppe kann festgehalten werden, dass sowohl bei laufendem als auch bei stehendem Rührwerk hinsichtlich des Trockenmassegehaltes keine völlig homogene Mischung vorliegt. Die Nährstoffe sind innerhalb der Trockenmasse weitgehend homogen verteilt. Besonders bei laufendem Rührwerk, was aber in der Praxis eher die Ausnahme sein wird, ist es daher unabdingbar, aus mehreren Flüssigkeitsschichten Proben zu entnehmen, wie dies mit dem Probenmessstab möglich ist.

Die guten Wiederholbarkeiten für alle Inhaltsstoffe (Tabelle 4.1) ermöglichen es auch, den Probenmessstab für weitergehende Untersuchungen der Nährstoffverteilung inner-

halb des Anmischbehälters einzusetzen. Als Beispiel seien hier nur Analysen des Sedimentationsverhaltens von Flüssigfutter angeführt (siehe 4.2.3).

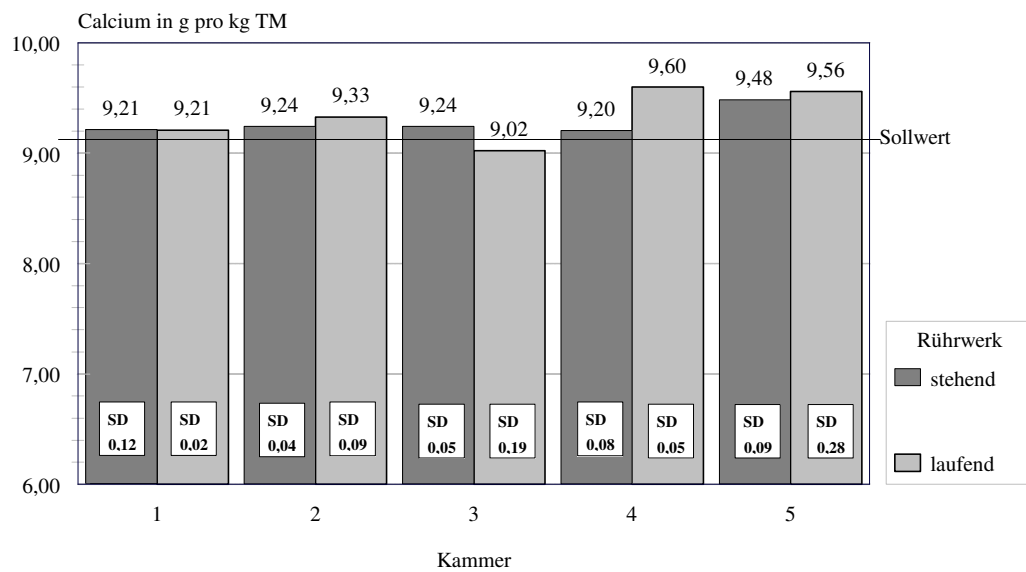


Abbildung 4.30: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (Ca)

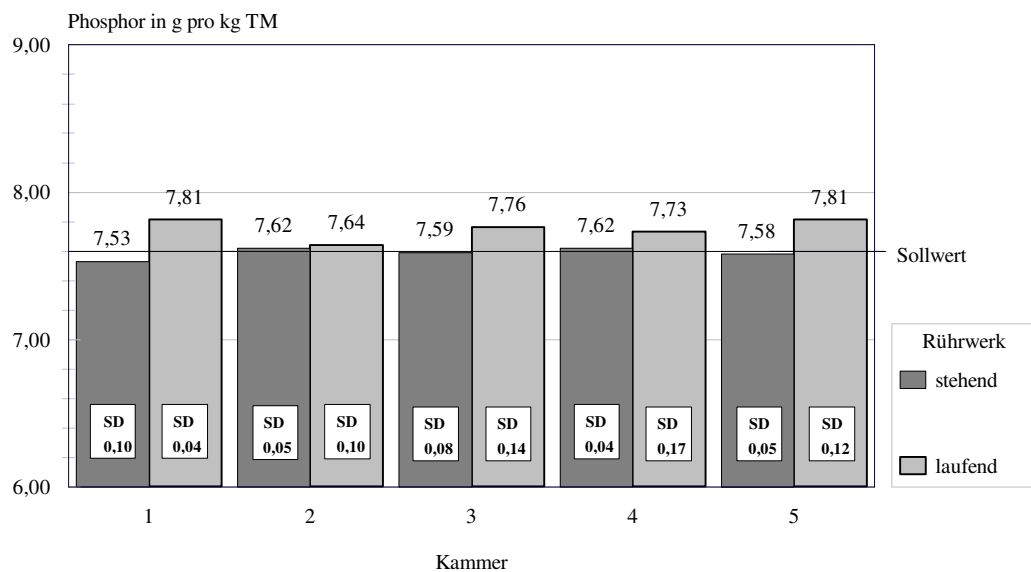


Abbildung 4.31: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (P)

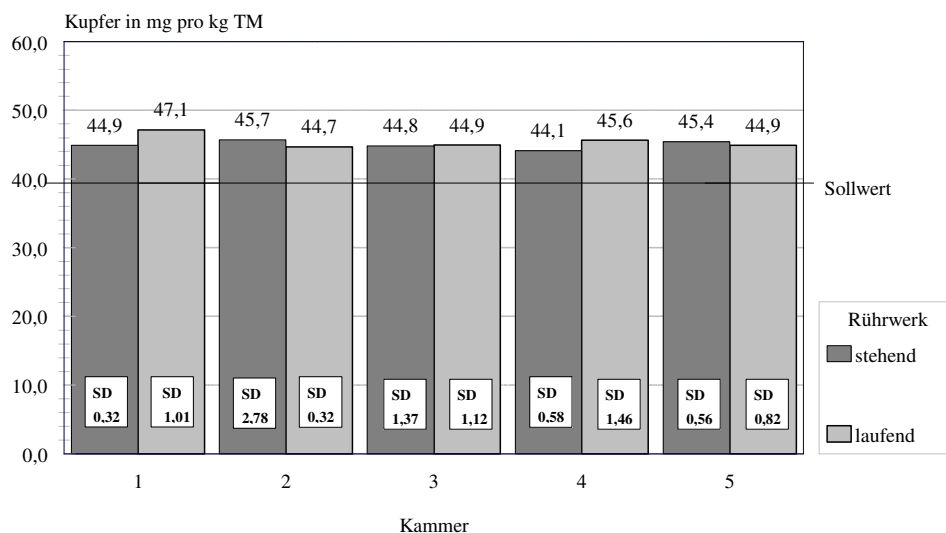


Abbildung 4.32: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (Cu)

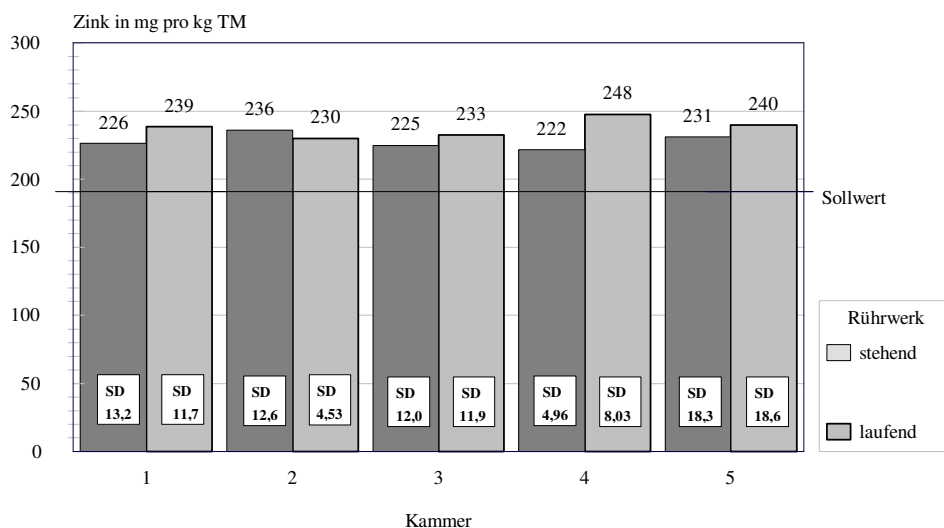


Abbildung 4.33: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (Zn)

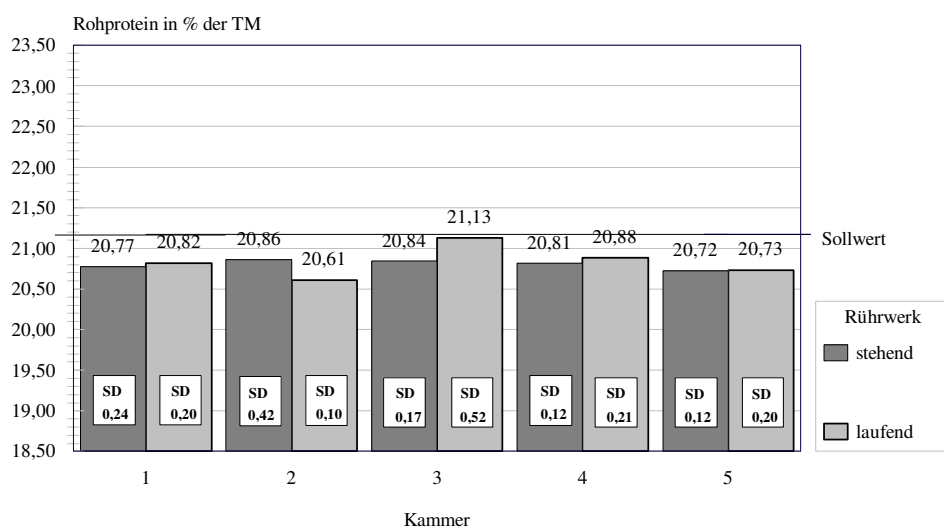


Abbildung 4.34: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (RP)

4.1.2.3 Einfluss eines Bypasses im Leitungssystem auf die Homogenität der Futtersuppe im Anmischbehälter

Der Anmischvorgang vollautomatischer Flüssigfütterungsanlagen beinhaltet in der Regel auch ein Umpumpen des Futterbreis durch das Leitungssystem. Die Rohre enthalten im günstigsten Falle Wasser vom Spülen oder auch Futterreste, die die Zusammensetzung des Flüssigfutters ändern können. Als Alternative zur Vermeidung dieser Störgrößen bietet sich an der Simulationsanlage das ausschließliche Anmischen des Futterbreies im Anmischbehälter an. Das Futter wird dabei dann allerdings nicht umgepumpt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen jedoch eindeutig, dass das Rührwerk allein nicht in der Lage ist, das Flüssigfutter homogen zu mischen. Gerade im Pumpensumpf des verwendeten Anmischbehälters der Anlage trat ein „Rührschatten“ zu Tage, wo sich vor allem die schwer wasserlöslichen bzw. unlöslichen Mineralstoffe ansammelten.

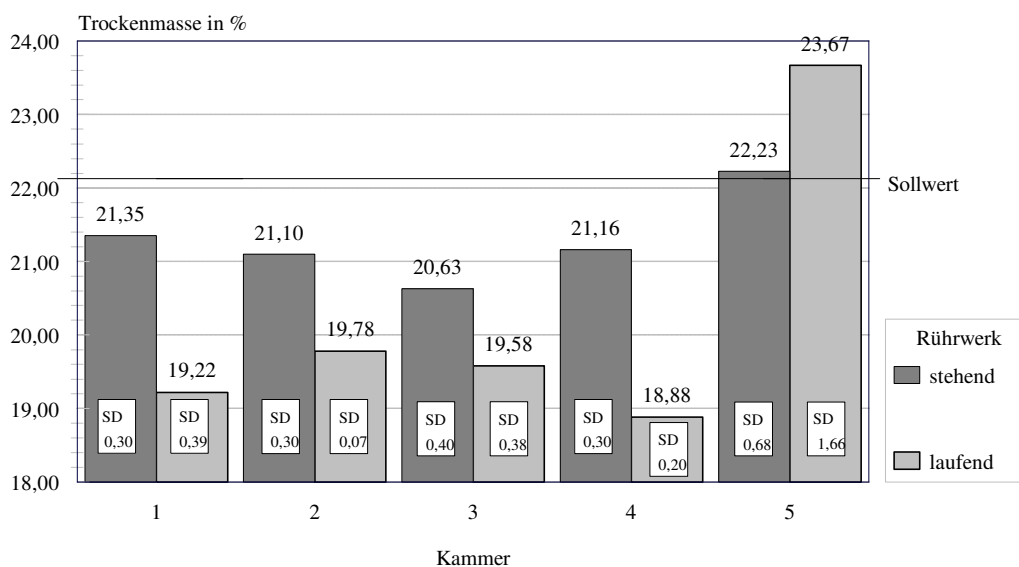


Abbildung 4.35: Probenahme bei stehendem und laufendem Rührwerk im Anmischbehälter ohne Bypass (TM)

Wie aus den Abbildungen 4.35 bis 4.41 ersichtlich wird, ist eine homogene Verteilung der Inhaltsstoffe nicht gegeben. Für fast alle analysierten Inhaltsstoffe ergibt sich eine signifikante Abweichung der untersten Kammer (5) gegenüber den vier anderen Kammern des Probenmessstabes sowohl bei stehendem als auch bei laufendem Rührwerk. Bei der letzteren Variante nehmen die Nährstoffkonzentrationen statistisch gesichert von der obersten zur untersten Schicht im Anmischbehälter zum Teil ganz beträchtlich zu. Eine Ausnahme bildet allerdings die Rohproteinfraktion, bei der eine hoch signifikante Abnahme ($p < 0,01$) des Gehaltes von Kammer eins zur Kammer fünf festzustellen ist. Die gleiche Tendenz zeigt sich auch bei stehendem Rührwerk, jedoch sind die Abweichungen nur zum Teil statistisch gesichert.

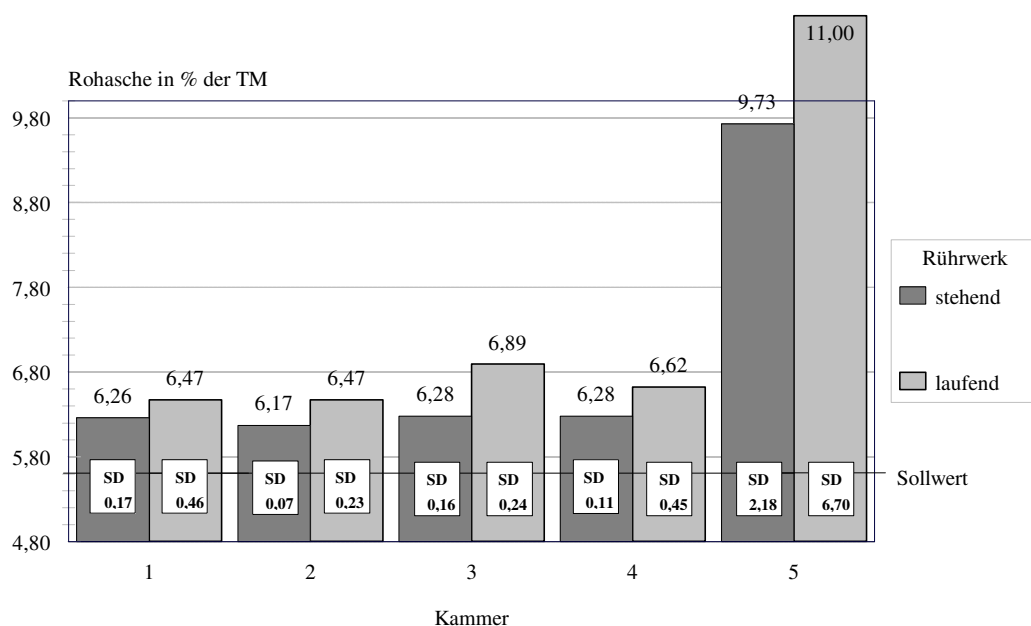


Abbildung 4.36: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (RA)

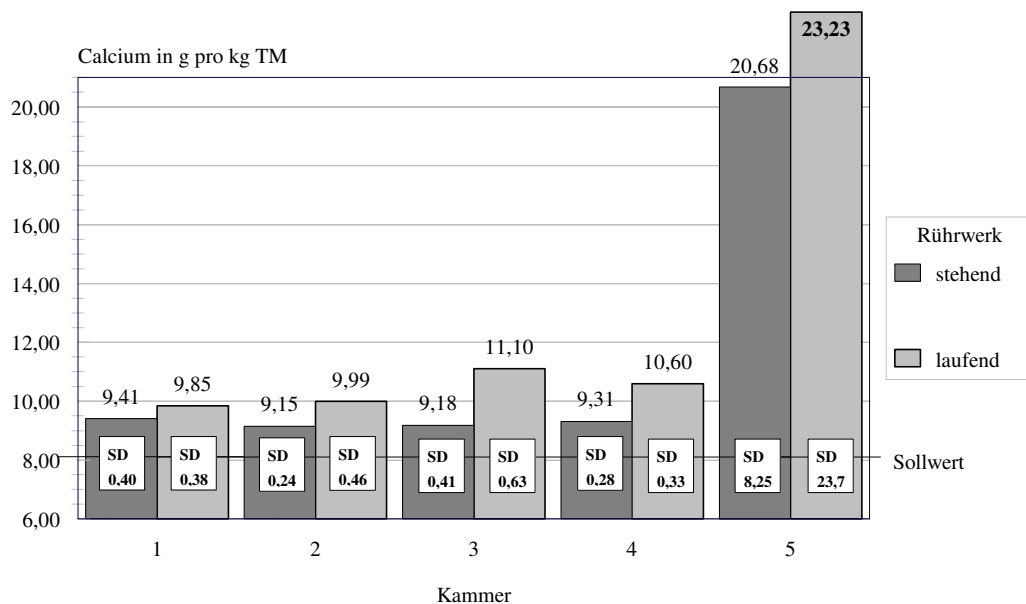


Abbildung 4.37: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (Ca)

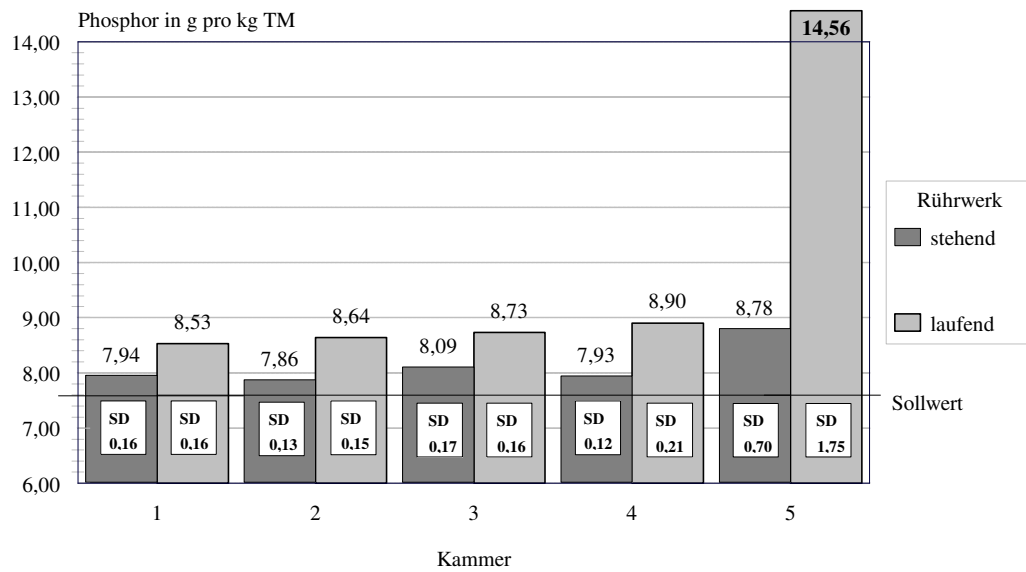


Abbildung 4.38: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (P)

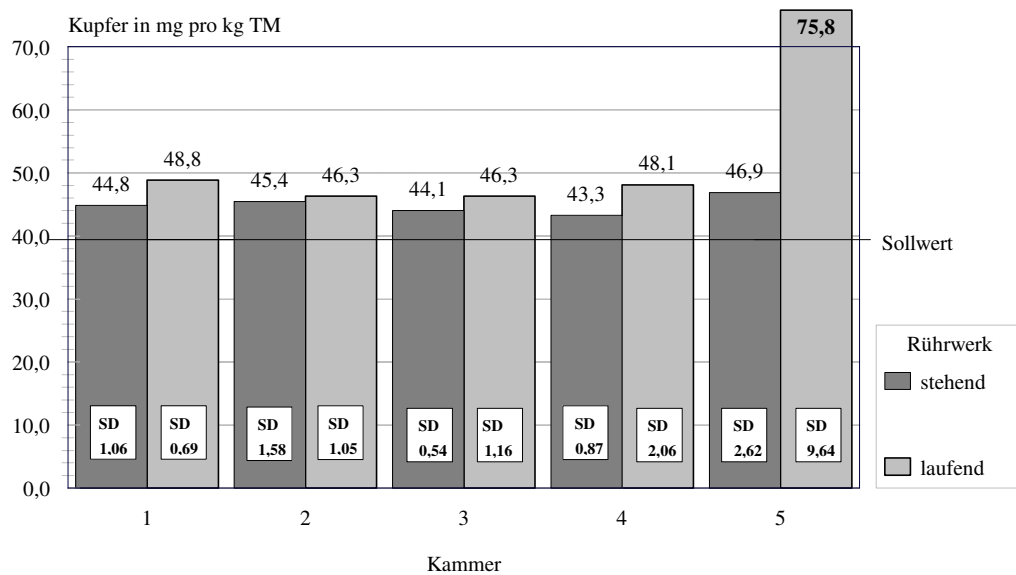


Abbildung 4.39: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (Cu)

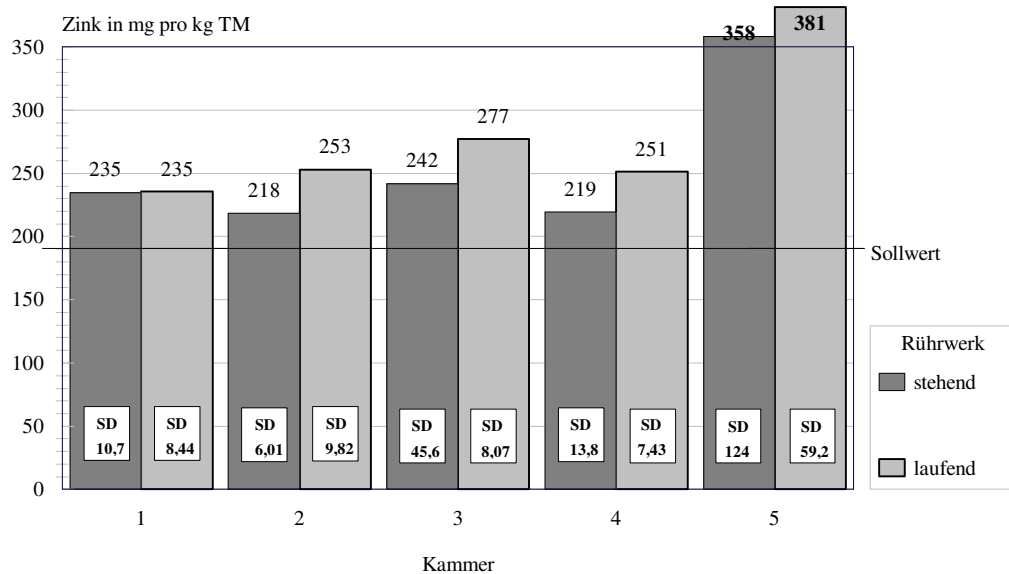


Abbildung 4.40: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (Zn)

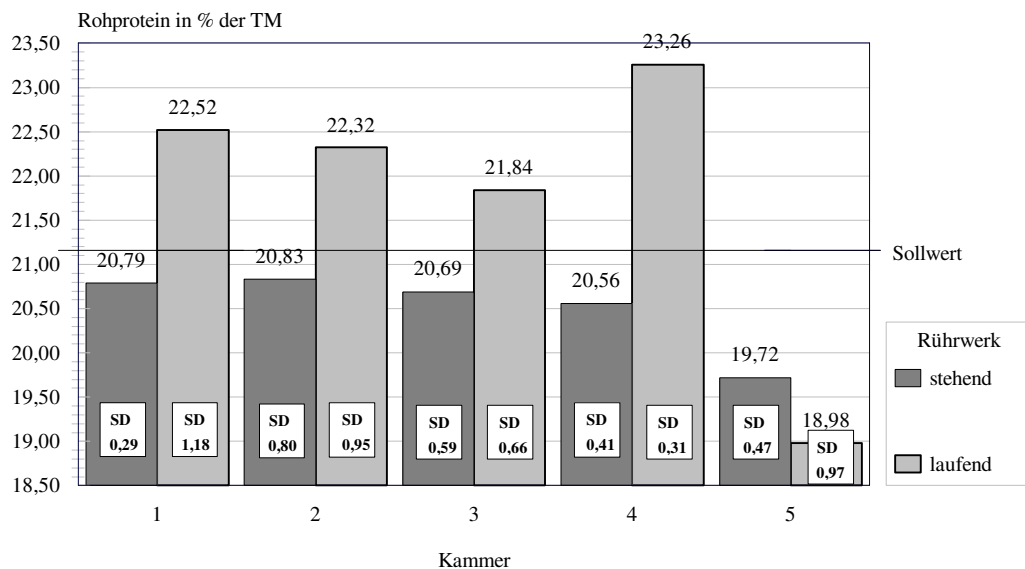


Abbildung 4.41: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (RP)

4.1.3 Radprobenteiler

Die Probenahme mit dem Radprobenteiler wurde sowohl bei stehender als auch bei bewegter Futtersäule durchgeführt (siehe 3.3.3). Wie aus Tabelle 4.1 zu ersehen ist, zeigt die Probenahme mit dem Radprobenteiler bei stehender Futtersäule eine wesentlich höhere Messgenauigkeit als bei bewegter Futtersäule. Dies wird durch die niedrigere Wiederholstandardabweichung von 0,04% bei Trockenmasse, von 0,03% bei Rohasche und von 0,37% bei Rohprotein bestätigt.

Da der Radprobenteiler mit stehender Futtersäule weder den Anforderungen der Praxis der Probennahme noch der Anleitung des Herstellers entspricht, wurde auf die Mengen- und Spurenelementanalyse verzichtet. Bei der Variante mit der bewegten Futtersäule, wo diese Analysen durchgeführt wurden, liegt die Wiederholbarkeit für die Phosphor-, Kupfer- und Zink-Untersuchungen mit 0,51 g/kg, 2,67 mg/kg bzw. 14,9 mg/kg (Tab. 4.1) im tolerierbaren Bereich. Lediglich bei Calcium übersteigt die Wiederholbarkeit mit 0,98 g/kg den Analysenspielraum von 0,8 g/kg. Die Ergebnisse für beide Varianten mit allen untersuchten Fraktionen sind in den Abbildungen 4.42 bis 4.46 dargestellt.

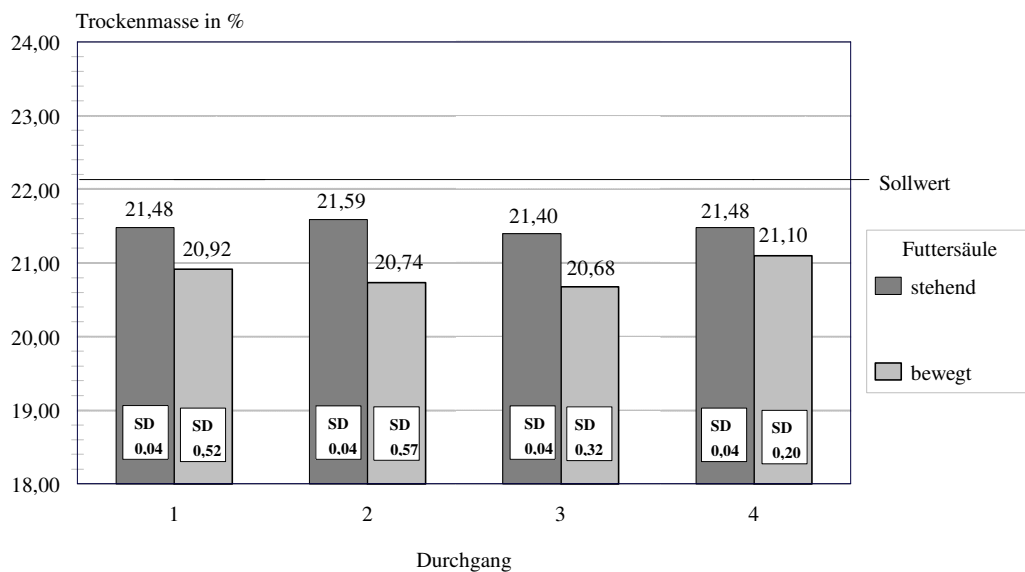


Abbildung 4.42: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (TM)

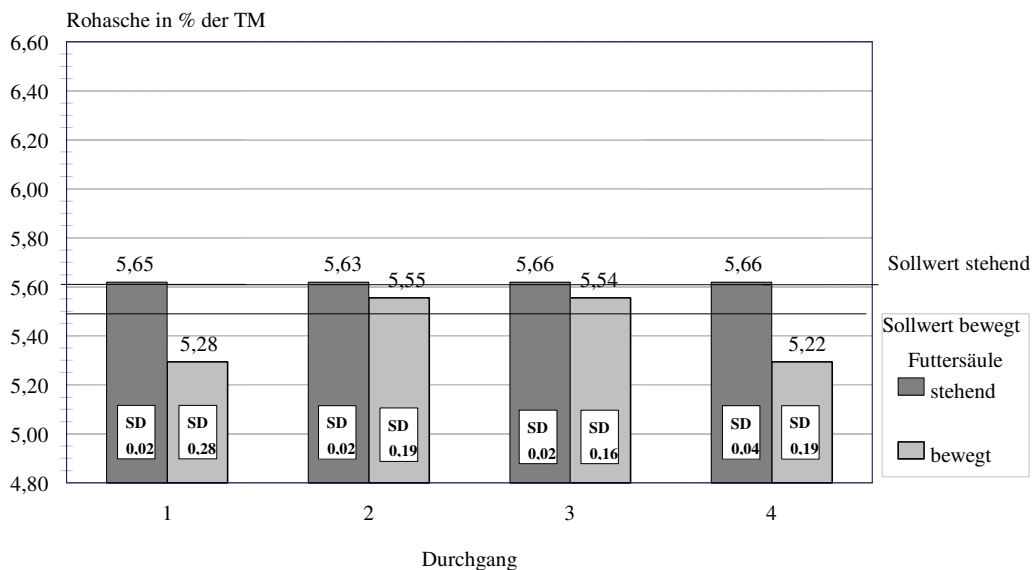


Abbildung 4.43: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (RA)

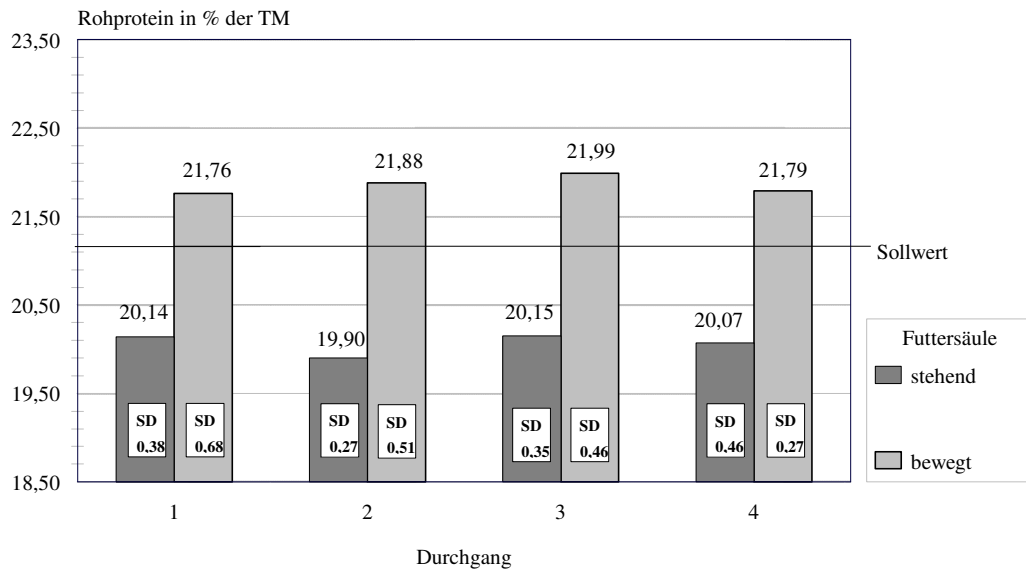


Abbildung 4.44: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (RP)

Sowohl bei bewegter als auch bei stehender Futtersäule ergeben sich für den Trockenmasse- und Rohproteingehalt signifikante Sollwertunterschiede. Diese betragen -1,27 bzw. 0,70 für die erste und -0,76 bzw. -0,82 für die zweite Variante. Beim Rohaschegehalt ist die Übereinstimmung in beiden Fällen sehr gut. Auch die Sollwertabweichung für Phosphor, Kupfer und Zink bleiben im Rahmen, wohingegen der Calciumgehalt um mehr als den Betrag des Analysenspielraums vom Sollwert differiert.

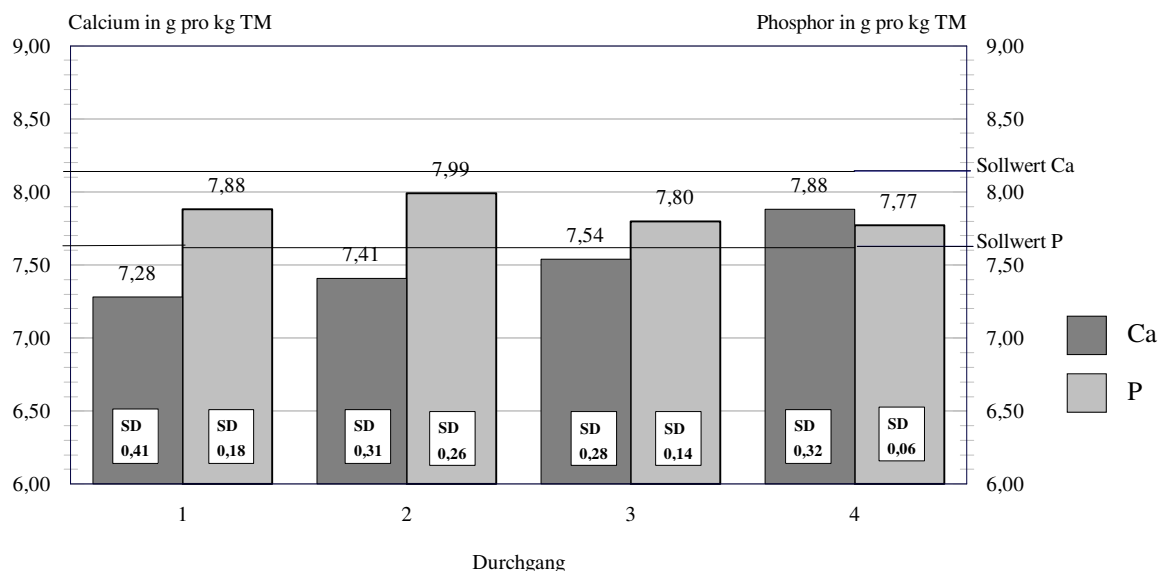


Abbildung 4.45: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (bewegte Futtersäule, Ca, P)

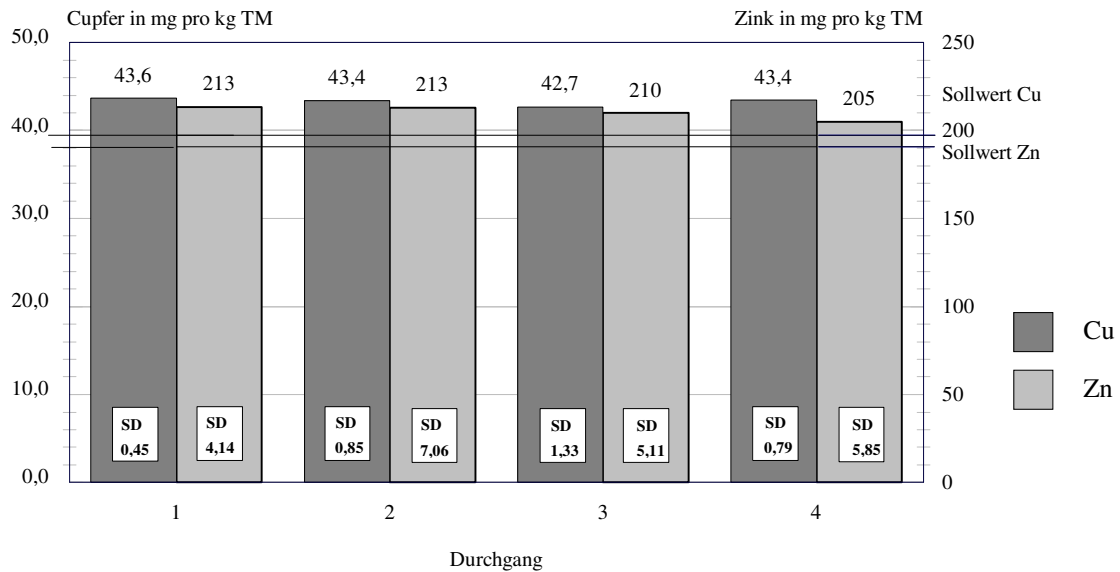


Abbildung 4.46: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (bewegte Futtersäule, Cu, Zn)

Unterschiede in den Inhaltsstoffen zwischen der bewegten und der stehenden Futtersäule sind zu erwarten, da bei stehender Futtersäule der zufällige Probenahmefehler wesentlich kleiner ist. Weiterhin ist zu beachten, dass die hier aufgeführten Sollwertabweichungen nicht immer auf individuellen systematischen Fehlern des Probenahmeverfahrens beruhen müssen. Erklärungen für diese Aussage lassen sich insofern belegen, als nach SCHWARZ (1989 a) und BECK (1989 b) Dosierungenauigkeiten in Abhängigkeit von der verwendeten Förderpumpe in Kauf genommen werden müssen. Aus diesem Grunde sollte den in diesem Abschnitt genannten Sollwertabweichungen keine allzu große Bedeutung beigemessen werden.

4.1.4 Laborprobenteiler

Der Laborprobenteiler stand in zwei Ausführungen zur Verfügung. Zusätzlich zur Grundausstattung (siehe 3.3.4) wurde das Gerät mit einem speziellen Mischbehälter eingesetzt, der als Zusatzausstattung für die zur Verteilung von Emulsionen, Suspensionen und anderer Mischungen von festen und flüssigen Stoffe bestimmt ist. Diese Version des Laborprobenteilers erwies sich jedoch für die Probenteilung von Flüssigfutter als völlig ungeeignet, da die Auslassöffnung des Mischbehälters, der den Einfülltrichter der Grundausstattung ersetzt, innerhalb kürzester Zeit durch Schrottpartikel verstopft war.

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen mit dem Grundgerät sind in den Abbildungen 4.47 bis 4.51 dargestellt.

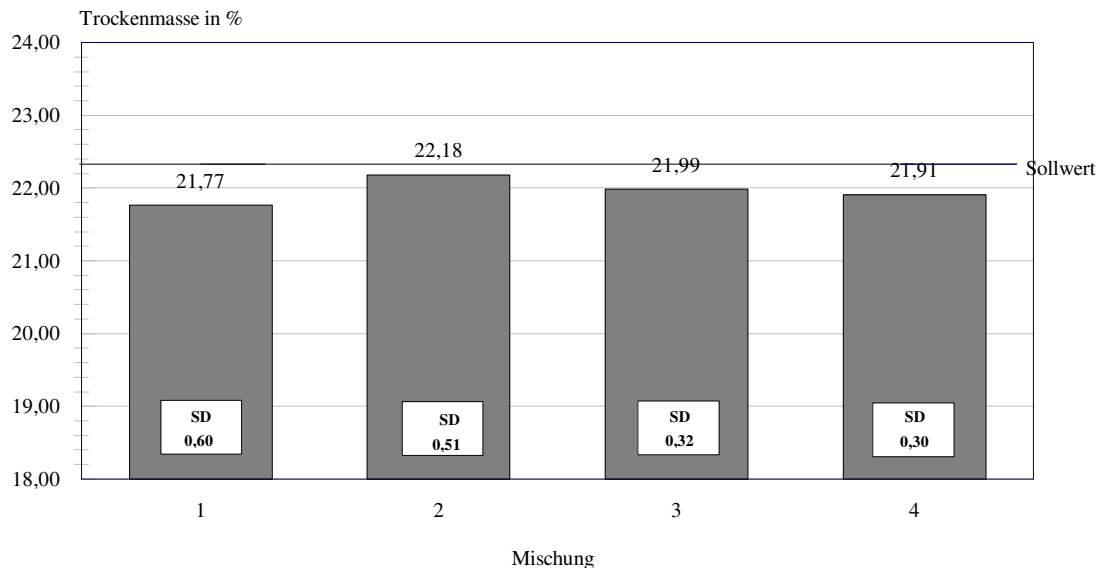


Abbildung 4.47: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (TM)

Beim Trockenmassegehalt zeigt sich eine statistisch gesicherte Abweichung vom Sollwert, die mit $d_m = -0,37$ deutlich ausfällt; beim Rohaschegehalt besteht auch eine signifikante Sollwertdifferenz von $d_m = 0,21$. Die Wiederholstandardabweichung liegt bei der Trockenmasse mit 1,30% weit im unbefriedigenden Bereich.

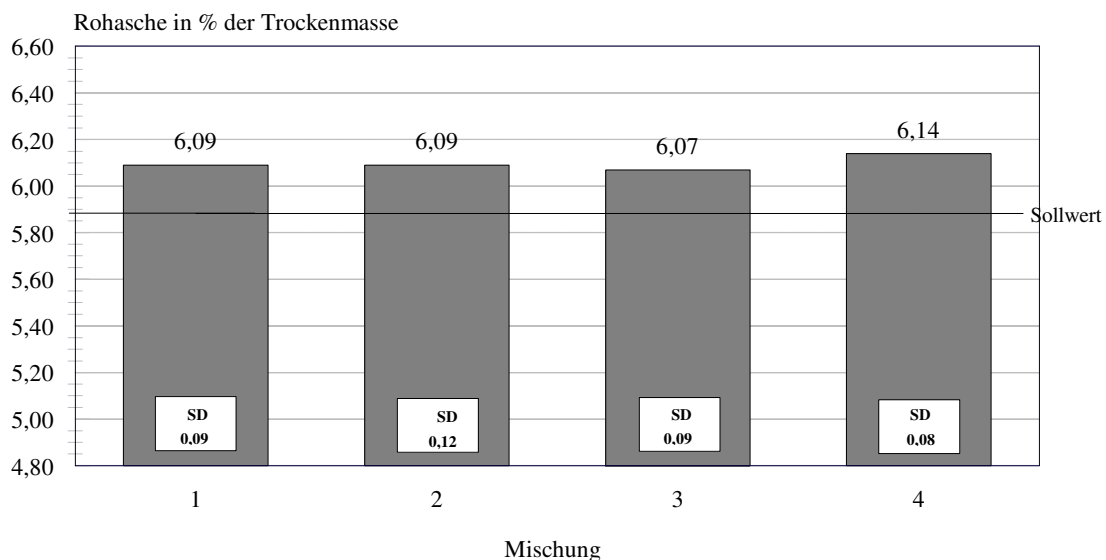


Abbildung 4.48: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (RA)

Auch aus den Darstellungen der Mineralstoffwerte geht hervor, dass die Messgenauigkeit des Laborprobenteilers sehr unterschiedlich ausfällt. Während der Phosphorgehalt eine mittlere absolute Differenz zum Sollwert von -0,03 g/kg aufweist und mit einer Wiederholbarkeit von 0,18 g/kg die Bedingungen für genaue und richtige Probenahme erfüllt, sieht die Situation bei Calcium ungünstiger aus. Die signifikante Sollwertabweichung von 0,87 g/kg, verbunden mit einer Wiederholbarkeit von 0,77 g/kg, weisen den Laborprobenteiler als eine noch geeignete Probenahmemethode für die Calciumbestimmung aus.

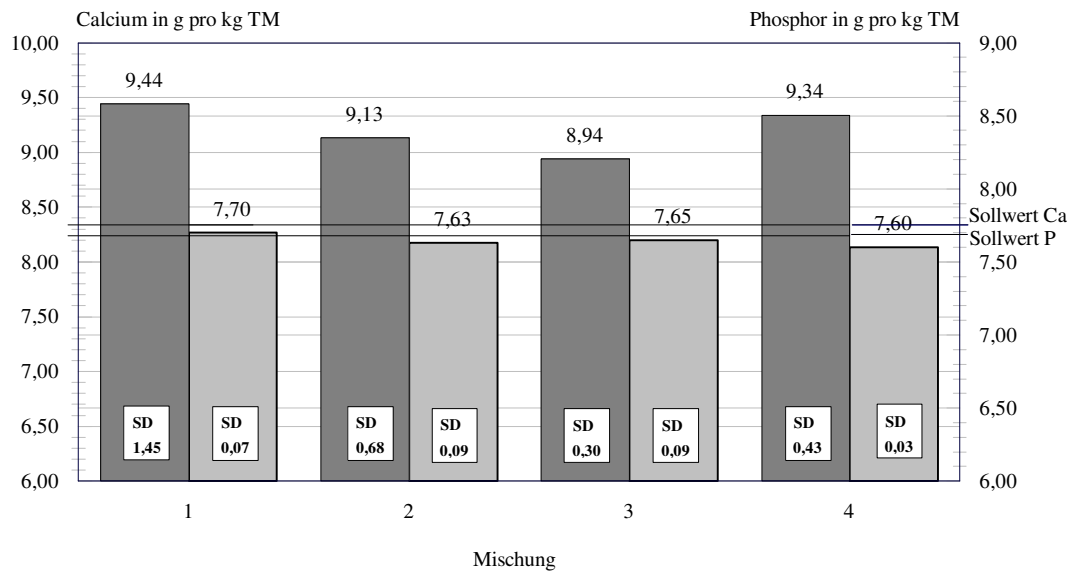


Abbildung 4.49: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (Ca, P)

Kupfer zeigte bei einer Wiederholbarkeit von etwa 2,9 mg/kg eine Sollwertabweichung von 4,51 mg/kg. Die Zink-Analysen hatten mit einer Wiederholbarkeit von 20,5 mg/kg eine signifikante Sollwertabweichung von rund 44 mg/kg TM.

Parallelen finden sich auch bei den Ergebnissen für Rohprotein. Die Wiederholbarkeit ist mit 0,66% auffällig hoch, ebenso wie die signifikante Sollwertabweichung mit 1,13%.

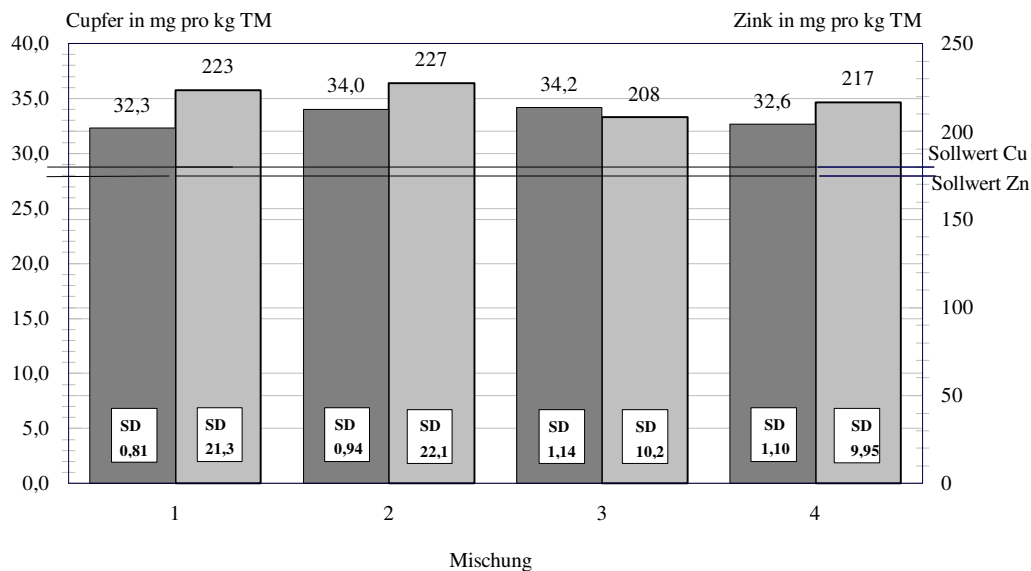


Abbildung 4.50: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (Cu, Zn)

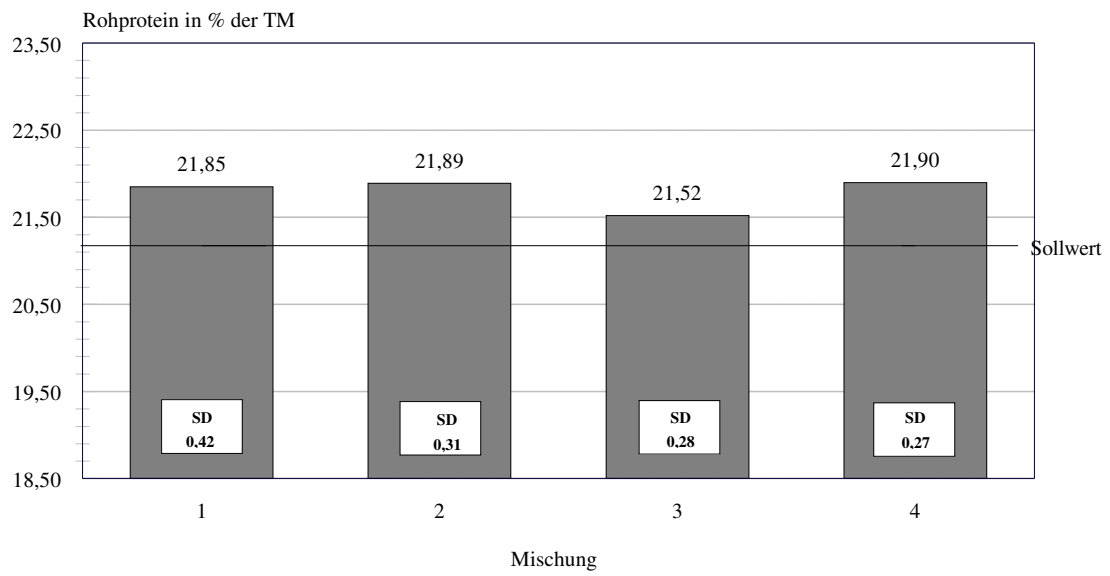


Abbildung 4.51: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (RP)

4.2 Einflussgrößen auf das Verhalten von Flüssigfutter im Anmischbehälter

Eine ausreichende Homogenität des Flüssigfutters im Anmischbehälter ist eine Voraussetzung für die exakte Dosierung des Futterbreies an den einzelnen Dosierventilen. Neben dem Rührwerk, das für die Homogenität sorgen soll, gibt es jedoch auch andere Einflussfaktoren, die dem entgegenwirken.

4.2.1 Einfluss des Quellverhaltens

Die Quellbarkeit kann die Eigenschaften des Flüssigfutters, im Besonderen die Viskosität und das Sedimentationsverhalten nachhaltig beeinflussen. Dies kann sich dann auch auf die Homogenität des Futterbreies auswirken. Ziel des Versuchsabschnittes war es zu prüfen, inwieweit die Quellung der Futterkomponenten während unterschiedlich langer Standzeiten die Homogenität der Nährstoffverteilung im Flüssigfutter beeinflusst. Dazu wurden mit dem Probenmessstab zu unterschiedlichen Zeiten nach dem Anmischen Proben gezogen und auf ihre Nährstoffzusammensetzung untersucht.

Das Quellungsverhalten wurde sowohl mit Mischung A (Weizen als Energieträger) als auch mit Mischung B (Gerste und Weizen als Energieträger, siehe 3.2.1) durchgeführt. Die Einzeldaten wurden mittels linearer Regressionsanalyse ausgewertet. Für Mischung A standen neun Probezeitpunkte (siehe Tabelle 8.14 im Anhang) je Kammer zur Verfügung, die aufgrund der zeitversetzten Probenahme unterschiedliche Quellungszustände aufwiesen. Für Mischung B wurden nur fünf Proben im zeitlichen Ablauf gezogen (siehe Tabelle 8.15 im Anhang). Die Probenahme erfolgte bei laufendem Rührwerk. In den Abbildungen 4.52 bis 4.55 sind die entsprechenden Trendkurven für die Inhaltsstoffe (Trockenmasse und organische Substanz) in beiden Mischungen dargestellt. Das Propellorkranzrührwerk wurde jeweils nur zur Probenahme eingeschaltet.

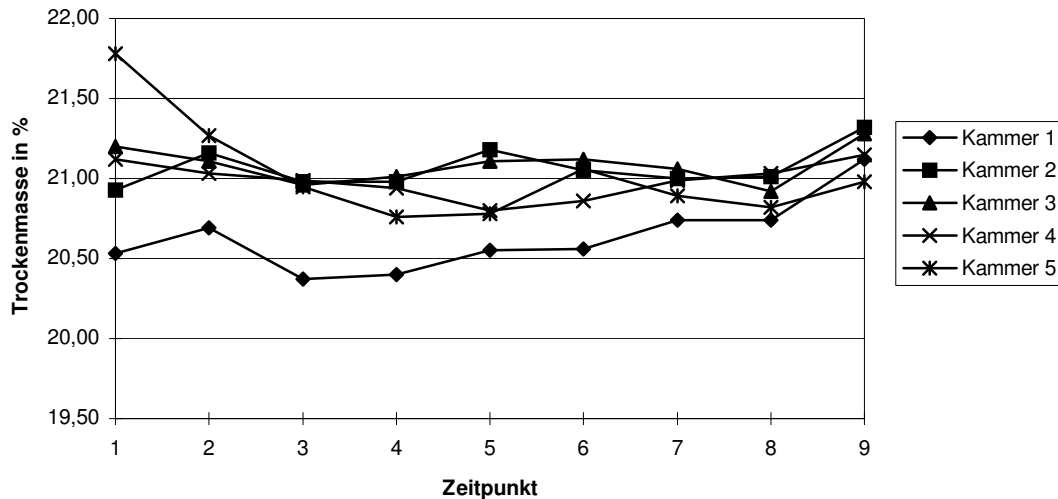


Abbildung 4.52: Einfluss der Quellungsdauer auf den TM-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung A

Für Kammer 1 (oberste Schicht) wurde ein deutlich zeitabhängiger linearer Anstieg der TM-Konzentration in Mischung A beobachtet ($r = 0,85$, $p < 0,01$; $s_{y,x} = 0,127$). Die Regressionsgerade für Kammer 1 lautet $Y = 20,52 + 0,028 \times X$, wobei Y den TM-Gehalt in % und X die Zeit in Stunden nach dem Anmischen darstellen. Die Gleichung besagt, dass der Trockenmassegehalt in der obersten Flüssigfutterschicht bei einer Verlängerung der Quelldauer um eine Stunde im Mittel um rund 0,03% ansteigt. Ein ähnliches Verhalten zeigte sich auch in Kammer 2, für die eine Regression von $Y = 21,01 + 0,014 \times X$ ($r = 0,74$, $P < 0,05$, $s_{y,x} = 0,091$) ermittelt wurde.

Ferner wurde auch ein Funktionstyp der Art $Y = a \times X^b$ geprüft. Jedoch ergab die Regressionsanalyse im zweifach logarithmischen Raster für Kammer 1 (Mischung A) eine schlechtere Anpassung der Daten für die oberste Flüssigkeitsschicht ($r = 0,76$; $p < 0,05$). Die Funktion kann als $Y = 20 \times X^{0,007}$ angegeben werden. In Kammer 2 und Kammer 5 ließ sich nur ein Trend nachweisen ($p < 0,1$). Für Kammer 2 ergab sich die Funktion $Y = 1,32 \times X^{0,003}$ und für Kammer 5 die Funktion $Y = 1,32 \times X^{-0,007}$ bei einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,64$ bzw. $r = 0,60$.

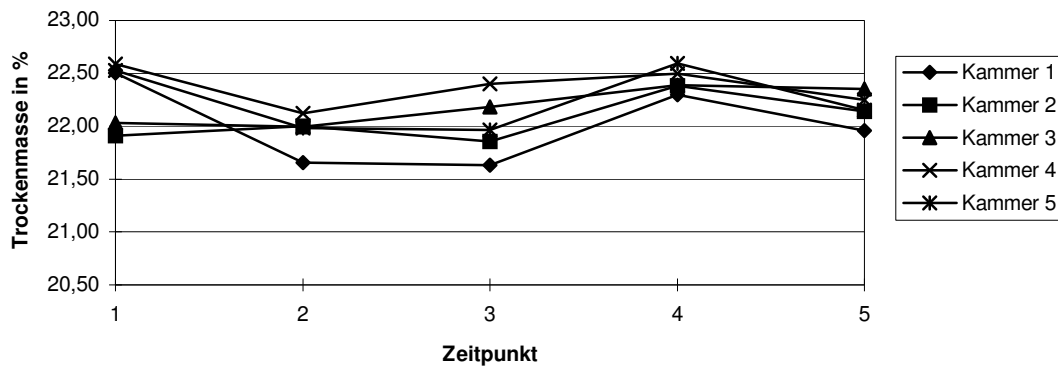


Abbildung 4.53: Einfluss der Quellungsdauer auf den TM-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung B

Das Resultat der Quellversuche lässt sich wie folgt zusammenfassen: Frisch angemischtes Futter weist tendenziell in den oberen Flüssigkeitsschichten bei laufendem Rührwerk eine geringere Konzentration auf. Erst mit zunehmender Quelldauer (Stunden) der Futterkomponenten erhöht sich die Konzentration der Trockenmasse in den oberen Schichten des Futterbreies. Im Gegensatz dazu nimmt der Trockenmassegehalt in der untersten Schicht (Kammer 5) im Anmischbehälter tendenziell ab. Für die Kammern 3 bis 5 ließ sich kein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen Quelldauer und TM-Gehalt nachweisen. Ein Mittelwertvergleich ergab einen hochsignifikant geringeren Trockenmassegehalt in Kammer 1 im Vergleich zu den übrigen Kammern.

Für die mit Mischung B veränderte Futterrezeptur konnten mit einer eher zufällig bedingten Ausnahme in Kammer 4 keine Korrelationen zwischen dem Trockenmassegehalt in unterschiedlicher Schichthöhe und der Quelldauer nachgewiesen werden, die auf systematische Quelleffekte hindeuten könnten. Die Variation im TM-Gehalt war allerdings in den letzten Probenahmezeiten (neun und einundzwanzig Stunden) tendenziell geringer als in den ersten drei Stunden nach dem Anmischen.

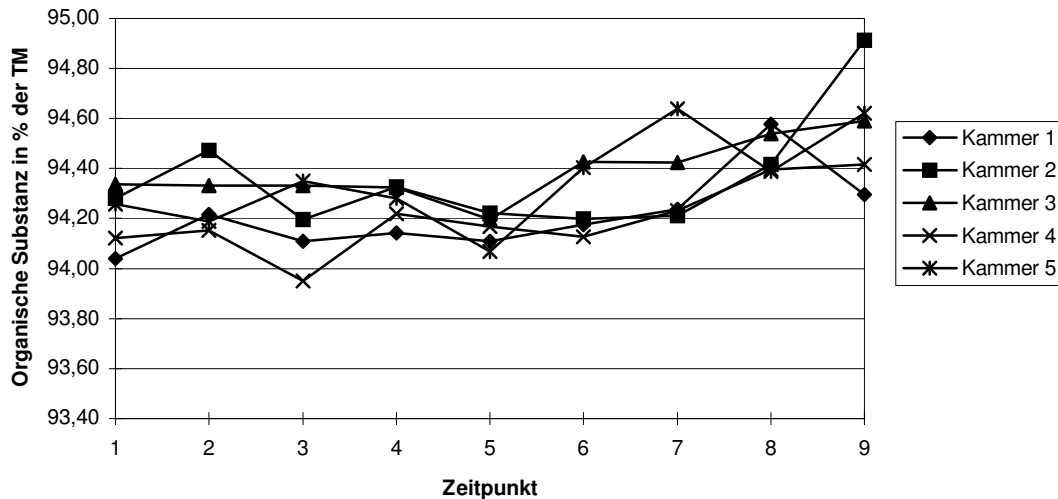


Abbildung 4.54: Einfluss der Quellungsdauer auf den OS-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung A

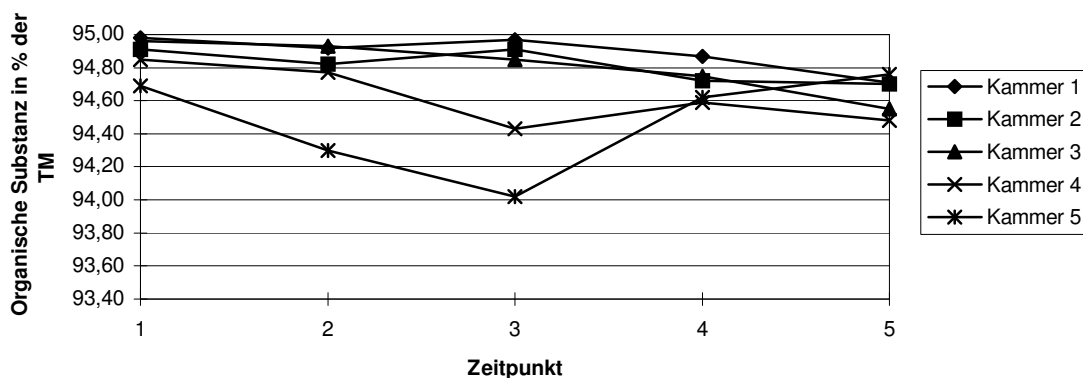


Abbildung 4.55: Einfluss der Quellungsdauer auf den OS-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung B

Bei der organischen Substanz, der die quellfähigen Fraktionen zuzuordnen sind, ließen sich für Mischung A für die mittleren Kammern statistisch gesicherte Korrelationen ermitteln (siehe Rohasche Anhangtabelle 8.14). Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Kammern lassen keine systematischen Effekte der Quelldauer erkennen.

Mischung B hingegen zeigte eine signifikante Zunahme des Gehaltes an organischer Substanz von der untersten zur obersten Flüssigfutterschicht. Die Unterschiede werden aber im zeitlichen Verlauf geringer. Nur für Kammer 1 ließ sich eine deutliche Abnahme der organischen Masse mit der Zeit nachweisen.

$$\text{Kammer 1: } Y = 95,02 - 0,025 \times X; r = -0,97 \text{ (} p < 0,01 \text{)}$$

Bei Mischung B zeigte sich für die Gehalte an organischer Substanz, ähnlich wie für die TM-Gehalte, neun und 21 Stunden (Zeitpunkt 4 und 5) nach dem Anmischen eine geringere Abweichung zwischen den Kammern als in den ersten drei Stunden (Abbildung 4.55).

Bei logarithmischer Transformation der Daten für Zeit (X) und Messwerte ergab sich mit $Y = 1,98 \times X^{-0,001}$ eine statistisch hoch gesicherte Regression mit dem Korrelationskoeffizienten $r = 0,97$.

4.2.2 Einfluss von Rührwerk und Mischbehälter

Der Effekt des Rührwerks im Zusammenwirken mit dem Anmischbehälter auf die Homogenität des Flüssigfutters (Mischung A) wurde mit drei Rührwerken untersucht. Im Anmischbehälter der Anlage A wurden entweder das original Kreuzbalkenrührwerk oder ein Propellerkranz-Rührwerk installiert. Die dritte Variante stellte die Anmischbehälter der Anlage B mit dem Propellerrührwerk dar. Die Probenahme erfolgte jeweils unmittelbar nach Abschalten des Rührwerks (ein Messwert pro Rührwerk und Kammer).

Wie aus Abbildung 4.56 und 4.57 zu erkennen ist, zeigen sich zwischen den einzelnen Rührwerk-Anmischbehälter-Kombinationen insgesamt keine wesentlichen Unterschiede in Trockenmasse und Rohasche. Bei der Trockenmasse sind nur geringe und ungerichtete Unterschiede zwischen den einzelnen Kammern zu erkennen. Die Schichthöhe der entnommenen Proben weist tendenziell auf einen niedrigeren Gehalt an Rohasche in der obersten Schicht (Kammer 1 bzw. im Falle der Anlage B Kammer 2) und einen höheren Gehalt in der untersten Schicht (Kammer 5) hin.

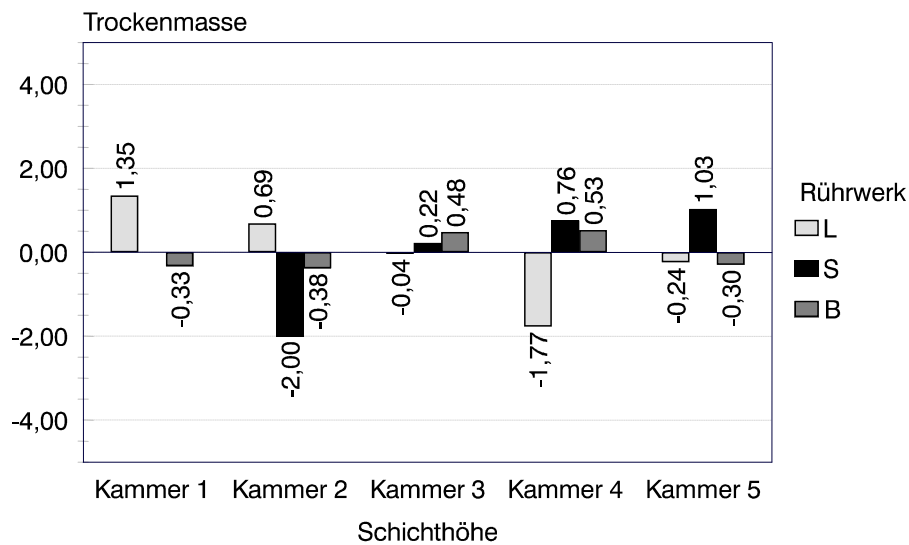


Abbildung 4.56: Vergleich unterschiedlicher Rührwerke (TM in %: absolute Abweichung vom Gesamtmittel; L: Propellerkranz, S: Propeller (ohne Kammer 1), B: Kreuzbalken)

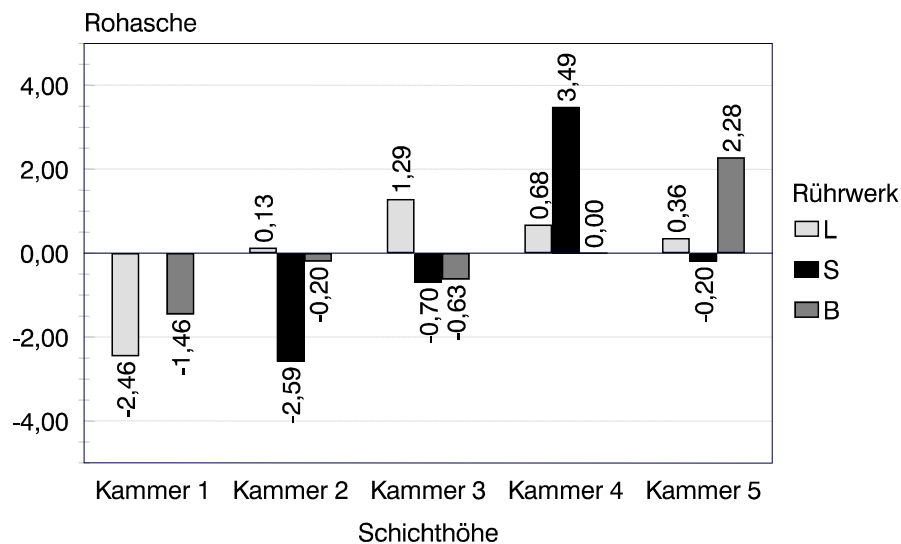


Abbildung 4.57: Vergleich unterschiedlicher Rührwerke (Rohasche, relative Abweichung in % vom Gesamtmittel; Rührwerk L: Propellerkranz, S: Propeller (ohne Kammer 1), B: Kreuzbalken)

4.2.3 Sedimentationsuntersuchungen im Anmischbehälter

Wie schon in der Literaturübersicht beschrieben, sorgt ein rotierendes Rührwerk für Schwingungen, die die quantitative Dosiergenauigkeit einer Flüssigfütterungsanlage beeinflussen können. Besonders deutlich treten diese Effekte bei niedrigem Füllstand des Anmischbehälters auf. Ziel dieser Untersuchung war es daher festzustellen, ob und innerhalb welchen Zeitraumes sich das Flüssigfutter nach Abschalten des Rührwerkes im Anmischbehälter durch Sedimentationsvorgänge entmischt. Für diese Versuche wurde die Anlage A mit dem Originalrührwerk und Futtermischung A verwendet und jeweils ein Wert pro Kammer und Zeit ermittelt.

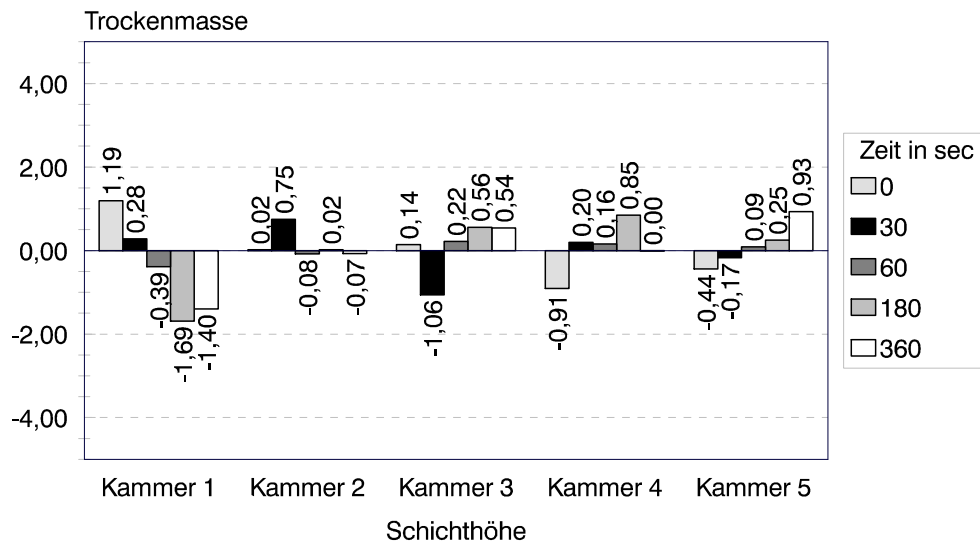


Abbildung 4.58: Homogenität der Futtersuppe nach unterschiedlicher Abschaltzeit des Rührwerkes (absolute Abweichung vom Gesamtmittel in % TM)

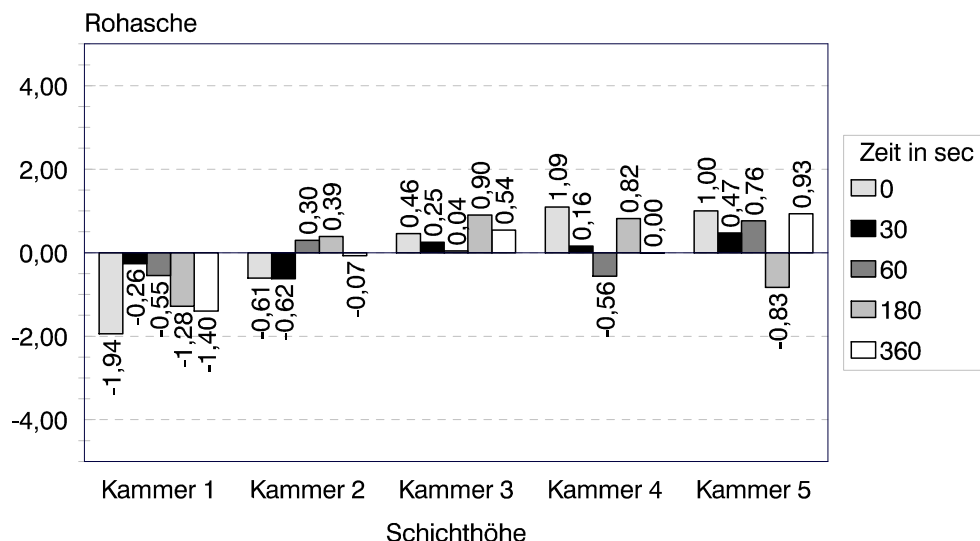


Abbildung 4.59: Homogenität der Futtersuppe nach unterschiedlicher Abschaltzeit des Rührwerkes (absolute Abweichung vom Gesamtmittel, RA in % TM)

Wie aus den beiden vorangegangenen Abbildungen hervorgeht, ist zu jedem Probenahmezeitpunkt nach Abschalten des Rührwerkes eine ausreichende Homogenität im Flüs-

sigfutter vorhanden. Dennoch zeigen sich kleinere Unterschiede, die aber nur zum Teil statistisch gesichert sind.

Beim Trockenmassegehalt offenbaren sich erst nach einer Abschaltzeit des Rührwerkes von mehr als drei Minuten eine deutliche Abnahme in der obersten Schicht, die entsprechend dann auch zu einer Zunahme des Trockenmassegehaltes der beiden unteren Schichten führt. In der Rohaschefraktion (Abbildung 4.59) waren von Anfang an deutliche Differenzen vorhanden. In Kammer 1 ist der Rohaschegehalt deutlich niedriger, bei allen anderen Kammern zeigt sich mit einzelnen Ausnahmen mit fortschreitender Zeit eine messbare, wenn auch geringe Zunahme des Rohaschegehaltes. Ein Vergleich der Rohaschegehalte in den Kammern 1 und 5 deutet jedoch nicht darauf hin, dass die anfänglich vorhandenen Konzentrationsunterschiede durch Abschalten des Rührwerks verstärkt wurden.

4.2.4 Variation des Futter-Wasser-Verhältnisses

Die Variation des Futter-Wasser-Verhältnis von 1 zu 2,8 (FWV 1) und 1 zu 3,2 (FWV 2) stand im Mittelpunkt dieses Versuches (Anlage A, Propellerkranz-Rührwerk, Mischung A, zwei Wiederholungen pro Variante). Die Probenahme erfolgte unmittelbar (0 Sekunden und 60 Sekunden nach Abschalten des Rührwerks). Beim relativen Trockenmassegehalt ergibt sich zwischen beiden Varianten nahezu kein Unterschied. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse für die Rohaschefraktion. In den obersten und untersten Schichten im Anmischbehälter streuen die Werte bei der „dickeren“ Mischung (FWV 1) etwas stärker. In den Abbildungen 4.60 und 4.61 sind die Untersuchungen grafisch dargestellt.

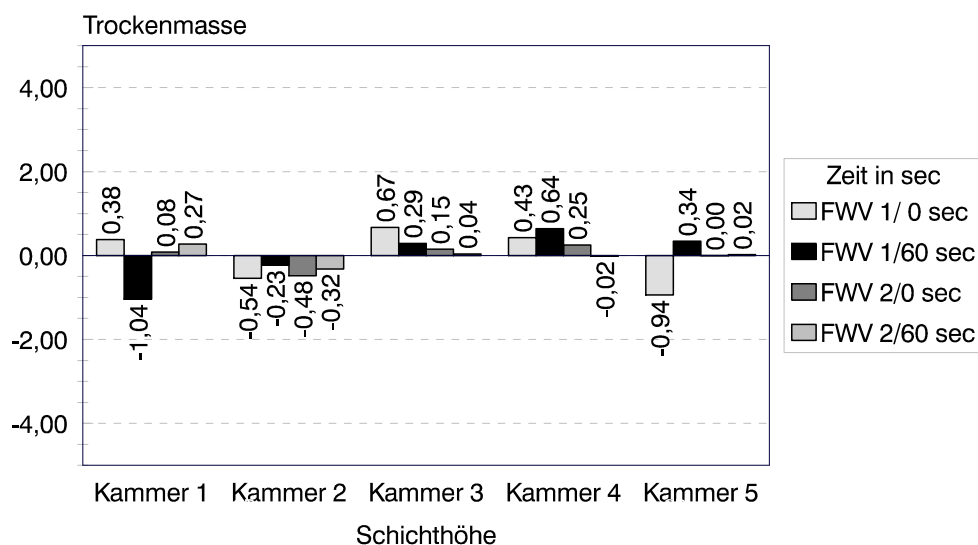


Abbildung 4.60: Einfluss des Futter-Wasser-Verhältnisses (FWV) auf die Homogenität des Flüssig-

futters nach Abschalten des Rührwerkes (TM in %; absolute Abweichung vom Gesamtmittel)

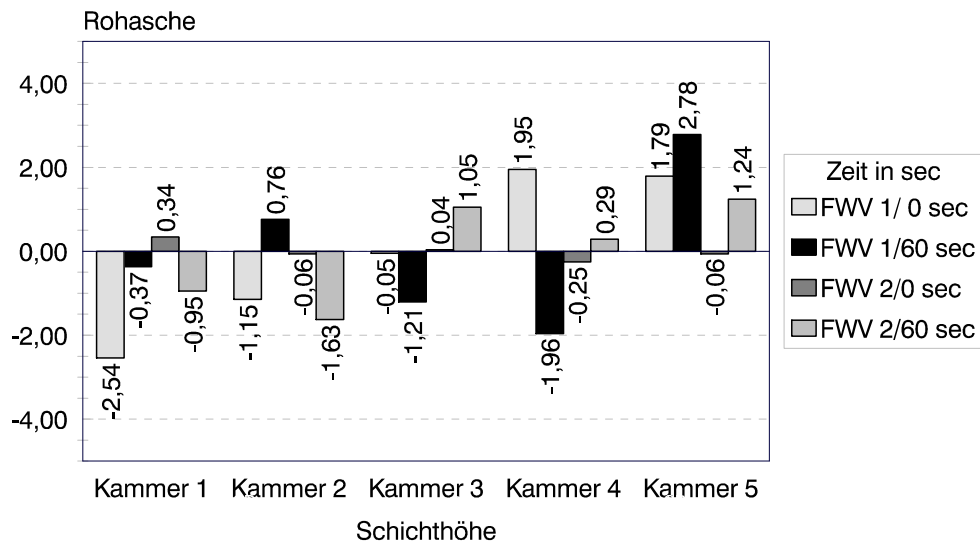


Abbildung 4.61: Einfluss des Futter-Wasser-Verhältnisses (FWV) auf die Homogenität des Flüssigfutters nach Abschalten des Rührwerkes (RA in %; absolute Abweichung vom Gesamtmittel)

4.3 Quantitative Dosiergenauigkeit

Die quantitative Dosiergenauigkeit der Flüssigfütterungsanlagen wurde an der Flüssigfütterungsanlage A mit zwei unterschiedlichen Rührwerken bei 5 und 25 kg Sollmasse geprüft. Ferner wurden beiden Flüssigfütterungsanlagen bei Sollmassen von 20, 40 und 60 kg an ausgewählten Ventilen in ihrer Dosiergenauigkeit bewertet. Die unterschiedlichen Sollmassen wurden dabei auf der Basis von Relativzahlen miteinander verglichen

4.3.1 Einfluss des Rührwerkes auf die quantitative Dosiergenauigkeit

In den Tabellen 4.2 und 4.3 sind die Ergebnisse der quantitativen Dosiergenauigkeit der Anlage A bei Ausstattung mit zwei unterschiedlichen Rührwerken dokumentiert. Die für die jeweiligen Dosierventile angegebenen Werte stellen Mittelwerte (MW in kg), Standardabweichung (SD in kg), Variationskoeffizient (VK in %) und Dosierfehler (DF in %, s. 3.6.1.4) aus fünf Durchgängen für die jeweilige Sollmasse dar. Die Standardabweichung zum Gesamtmittelwert, dementsprechend auch der Variationskoeffizient und der Dosierfehler, beinhaltet auch die Streuung zwischen den Ventilen. In Tabelle 4.4 sind relative Werte aller Dosierungen beider Sollmassen für das jeweilige Rührwerk angegeben.

Tabelle 4.2: Quantitative Dosiergenauigkeit für 25 kg Sollmasse an 10 Dosierventilen bei unterschiedlichem Rührwerk im Mischbehälter A (5 Werte pro Ventil und Rührwerk)

25 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
0	28,10	2,20	7,8	21,2	27,74	1,69	6,1	17,7
1	24,87	0,49	2,0	2,5	24,86	0,82	3,3	3,8
2	25,30	0,48	1,9	3,1	25,20	0,81	3,2	4,1
3	24,73	0,69	2,8	3,8	24,50	0,45	1,8	3,8
4	24,93	0,72	2,9	3,2	25,16	1,21	4,8	5,5
12	24,32	0,94	3,9	6,5	24,57	1,22	5,0	6,6
13	25,08	1,00	4,0	4,3	25,20	0,73	2,9	3,7
14	24,55	0,54	2,2	4,0	24,62	0,77	3,1	4,6
15	25,43	0,45	1,8	3,5	25,41	0,56	2,2	3,9
16	25,27	0,45	1,8	2,9	25,30	0,51	2,0	3,3
Gesamt (n=50)	25,26	1,32	5,2	6,3	25,26	1,24	4,9	6,0
Sollwertdiff.	+0,26				+0,26			

Tabelle 4.3: Quantitative Dosiergenauigkeit für 5 kg Sollmasse an 10 Dosierventilen bei unterschiedlichem Rührwerk im Mischbehälter (5 Werte pro Ventil und Rührwerk)

5 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
0	6,55	0,48	7,3	40,5	6,76	0,83	12,2	51,8
1	6,86	0,75	11,0	52,3	5,95	0,99	16,6	38,9
2	4,92	0,74	15,1	16,5	5,53	0,57	10,3	22,0
3	4,77	0,64	13,4	17,3	4,55	0,70	15,5	23,1
4	4,77	0,57	11,9	15,9	4,68	0,66	14,2	19,7
12	4,02	0,33	8,2	26,1	4,43	0,81	18,4	27,7
13	4,92	0,83	16,9	18,2	4,59	0,63	13,7	20,7
14	5,13	0,50	9,7	12,6	5,51	0,43	7,9	18,8
15	4,69	1,00	21,3	26,2	4,95	0,94	19,0	17,7
16	4,82	0,61	12,6	15,7	4,62	0,60	13,1	19,7
Gesamt (n=50)	5,15	1,03	20,1	23,6	5,16	0,99	19,2	22,9
Sollwertdiff.	0,15				0,16			

Eine Übersicht über die Genauigkeit der Futterzuteilung geben auch die Abbildungen 4.62 (25 kg Sollmasse) und 4.63 (5 kg Sollmasse).

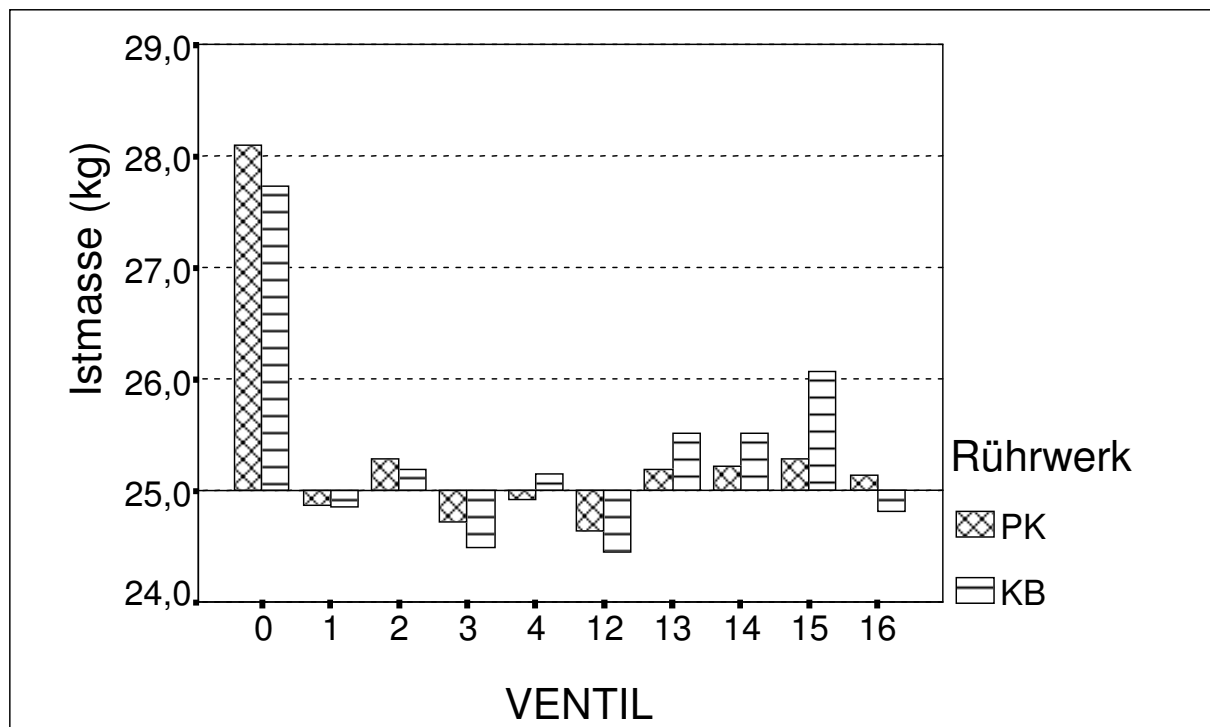


Abbildung 4.62: Dosiergenauigkeit der Anlage A mit unterschiedlichem Rührwerk (PK: Propellerkranz; KB: Kreuzbalken) bei 25 kg Sollmasse: Abweichungen vom Sollwert

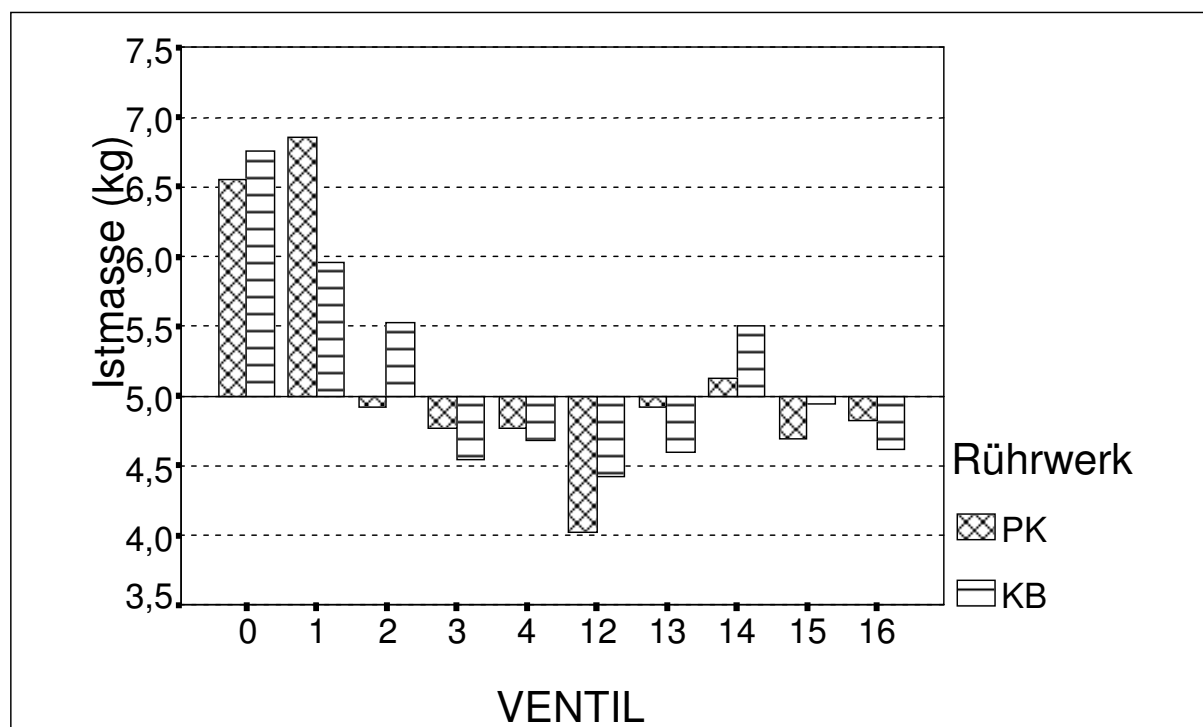


Abbildung 4.63: Dosiergenauigkeit der Anlage A mit unterschiedlichem Rührwerk (PK: Propellerkranz; KB: Kreuzbalken) bei 5 kg Sollmasse: Abweichungen vom Sollwert

Tabelle 4.4.: Quantitative Dosiergenauigkeit für Anlage A mit unterschiedlichen Rührwerken bei zwei Sollmassen (10 Werte pro Ventil und Rührwerk)

<i>Relativ</i>	<i>Propellerkranz</i>				<i>Kreuzbalken</i>			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
0	121,7	13,1	10,7	34,8	123,1	17,5	14,2	40,6
1	118,4	22,3	18,9	40,7	109,3	16,9	15,5	26,2
2	99,8	10,1	10,1	10,3	105,7	9,5	8,9	15,2
3	97,2	8,9	9,2	11,7	94,5	10,2	10,8	15,7
4	97,6	8,1	8,3	10,5	97,1	10,1	10,4	13,0
12	88,9	10,2	11,5	21,3	93,4	12,4	13,3	19,0
13	99,4	11,5	11,5	12,1	96,3	9,8	10,2	13,5
14	100,4	7,2	7,1	7,6	104,3	8,7	8,3	13,0
15	97,8	14,0	14,3	16,2	100,3	12,7	12,7	13,0
16	98,8	8,5	8,6	9,8	96,8	9,4	9,7	12,6
Gesamt (n=100)	102,0	15,0	14,7	17,0	102,1	14,4	14,1	16,5

Tabelle 4.4 zeigt, dass zwischen beiden Rührwerken im Gesamtmittel von zwei Dosierstufen bezüglich Sollwertdifferenz und mittlerem Dosierfehler (DF) keine Unterschiede bestehen. Die Ventilposition hingegen hat einen deutlichen Einfluss auf die ausdosierte Futtermenge. Vorwiegend die ersten beiden Ventile (0 und 1) weisen sowohl beim Propellerkranz- als auch beim Kreuzbalken-Rührwerk mit 121 bzw. 123% und mit 118 bzw. 109% Überdosierungen auf. Unterhalb des Sollwertes indes teilt

Ventil 12 mit nur 88 bzw. 93% der Sollmasse am geringsten zu. An allen anderen Futterventilen wurde das Flüssigfutter mit geringeren Abweichungen ausdosiert.

Für beide Sollmassen und Rührwerke liegt für die geprüften zehn Ventile eine durchschnittliche Überdosierung von 2,0 bzw. 2,1% der Sollmasse vor. Durch die ungenügenden Ergebnisse beim 5-kg-Versuch (Tab. 4.3) zeigt sich an den zehn Dosierventilen eine nicht ausreichende Dosiergenauigkeit. Die Forderung nach einem Dosierfehler von weniger als fünf Prozent wird an den einzelnen Messstellen ausnahmslos verfehlt. Unabhängig vom eingesetzten Rührwerk ergibt sich ein durchschnittlicher Dosierfehler von etwa 23%. Festzuhalten bleibt, dass die Anlage A bei einer Waagenauflösung von 100 g mit der vorhandenen Steuerungssoftware eine Sollmasse von 5 kg nicht mit ausreichender Präzision (VK) und Richtigkeit (Sollwertabweichung) ausdosieren kann.

Wesentlich homogener sind die Resultate der 25-kg-Ausdosierung unabhängig von der Wahl des Rührwerks. Signifikante Sollwertabweichungen treten aber auch hier an einzelnen Ventilen auf. Besonders auffällig ist bei der angestrebten Futterzuteilung von 25 kg die Überdosierung am ersten Ventil (Nr. 0) mit 28,10 bzw. 27,74 kg und die Unterdosierung am zwölften Ventil mit 24,32 bzw. 24,57 kg. An diesen beiden Ventilen ergibt sich ein Dosierfehler beim Propellerkranz-Rührwerk von 21,2% und 6,5% bzw. bei der Kreuzbalken-Variante von 17,7% und 6,6%. Zusätzlich fällt bei dieser Anlagenkombination noch der Dosierfehler von 5,5% an Ventil 4 auf.

4.3.2 Einfluss der Anlagenkonfiguration auf die quantitative Dosiergenauigkeit

Im zweiten Dosierversuch wurden die beiden Anmischbehälter und die damit verbundene Steuerungstechnik bei gleichen Dosierventilstrecken verglichen. In den Tabellen 4.5 und 4.6 sind für die beiden Flüssigfütterungsanlagen die Ergebnisse zur quantitativen Dosiergenauigkeit dokumentiert. Die in den Tabellen nach Sollmassen gegliederten Werte der einzelnen Dosierstreckenventile sind Mittelwerte aus fünf Dosiervorgängen pro Ventil und Sollmasse. In Tabelle 4.7 sind zusätzlich die Gesamtmittel aus den relativen Werten aller Dosierungen der drei Sollmassen angegeben. Eine detaillierte Gesamtübersicht aller Werte ist im Tabellenanhang (Tabelle 8.17) zu finden.

Tabelle 4.5: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlage B

Sollmasse	20 kg				40 kg				60 kg			
Ventil	Istwert	SD	VK	DF	Istwert	SD	VK	DF	Istwert	SD	VK	DF
1	19,89	0,49	2,5	3,0	40,52	0,87	2,2	3,5	61,89	2,06	3,3	6,6
2	20,40	0,86	4,2	6,3	40,63	2,11	5,2	6,9	59,52	0,91	1,5	2,3
3	20,16	0,88	4,4	5,2	39,99	0,37	0,9	1,0	58,81	1,74	3,0	4,9
4	19,94	0,40	2,0	2,3	39,76	0,93	2,3	2,9	59,75	0,92	1,5	2,0
5	20,21	0,39	1,9	3,0	39,74	0,39	1,0	1,6	60,79	1,86	3,1	4,4
12	19,88	0,26	1,3	1,9	40,11	0,84	2,1	2,4	56,48	1,00	1,8	7,5
13	19,58	0,91	4,7	6,7	41,16	1,05	2,6	5,5	57,18	1,21	2,1	6,7
23	19,65	0,47	2,4	4,1	41,75	0,78	1,9	6,3	60,34	1,87	3,1	3,7
24	20,05	0,93	4,6	4,9	39,36	1,15	2,9	4,5	59,77	1,82	3,0	3,4
MW	19,97	0,64	3,2	3,4	40,34	1,20	3,0	3,8	59,47	2,11	3,6	4,4
SWD	-0,03				0,34				-0,53			

Istwert und s in kg, VK und DF in Prozent, SWD (Sollwertdifferenz = Istwert – Sollwert)

Tabelle 4.6: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlage A

Sollmasse	20 kg				40 kg				60 kg			
Ventil	Istwert	SD	VK	DF	Istwert	SD	VK	DF	Istwert	SD	VK	DF
1	20,60	0,75	3,6	6,7	38,28	0,93	2,4	6,6	62,34	2,05	3,3	7,3
2	19,69	0,54	2,7	4,2	40,31	1,32	3,3	4,1	59,29	1,08	1,8	3,0
3	21,17	0,57	2,7	8,7	43,05	0,76	1,8	9,5	61,97	0,76	1,2	4,6
4	19,31	0,68	3,5	6,9	36,98	0,70	1,9	9,3	58,92	0,37	0,6	2,4
5	20,19	0,46	2,3	3,2	40,95	0,90	2,2	4,6	61,16	0,45	0,7	2,7
12	18,99	0,16	0,9	5,9	36,69	1,18	3,2	11,2	58,90	1,05	1,8	3,6
13	20,20	0,58	2,9	3,9	44,20	0,82	1,9	12,5	61,29	1,10	1,8	4,0
23	18,79	0,66	3,5	9,3	37,10	1,98	5,3	12,2	59,85	1,03	1,7	2,0
24	20,47	0,53	2,6	5,0	42,13	1,72	4,1	9,6	61,36	1,05	1,7	4,0
MW	19,93	0,92	4,6	4,9	39,96	2,91	7,2	7,2	60,56	1,61	2,7	3,6
SWD	-0,07				-0,04				0,56			

Einen direkten Vergleich der mittleren Genauigkeit der Futterzuteilung zwischen den beiden Anlagen entlang der Dosierstrecke geben die nach Sollmassen gegliederten Abbildungen 4.64 bis 4.66 in Form von Säulendiagrammen. In den Abbildungen 4.67 und 4.68 werden jeweils für eine Anlage die bei den drei verschiedenen Sollmassendosierungen ermittelten Zuteilgenauigkeiten als Polygonzug gezeigt. Aus diesen Abbildungen sind die relativen Abweichungen der Dosierungen vom Sollwert an den einzelnen Ventilpositionen erkennbar.

Tabelle 4.7: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlagen A und B für die Sollmassen 20, 40 und 60 kg (relativ)

<i>Anlage B</i>					<i>Anlage A</i>				
Ventil	Istwert	SD	VK	DF	Ventil.	Istwert	SD	VK	DF
1	101,30	2,98	3,0	4,3	1	100,87	4,83	4,8	5,7
2	100,93	3,94	3,9	4,8	2	99,35	2,69	2,7	3,4
3	99,60	3,11	3,1	3,5	3	105,59	2,68	2,5	8,1
4	99,56	1,83	1,8	2,3	4	95,73	3,26	3,4	7,7
5	100,58	2,22	2,2	2,8	5	101,75	1,87	1,8	3,6
12	97,94	3,23	3,3	5,4	12	94,94	3,31	3,5	8,5
13	99,05	4,16	4,2	5,2	13	104,55	4,87	4,7	9,2
23	101,06	3,50	3,5	4,5	23	95,49	4,57	4,8	9,3
24	99,42	3,42	3,4	4,0	24	103,30	3,22	3,1	6,4
MW	99,94	3,31	3,3	3,4	MW	100,17	5,19	5,2	5,4
SWD	-0,06				SWD	+0,17			

Für alle Ventile und Sollmassenvarianten zusammengefasst dosierte Anlage B das Flüssigfutter mit einer Genauigkeit von 99,94% und Anlage A mit 100,17%. Diese Zuteilergebnisse werden bei der Anlage B mit einem Dosierfehler von 3,37% erreicht, bei der Anlage A mit einem Dosierfehler von 5,35%. Im letzteren Falle übersteigt der Dosierfehler den festgelegten Grenzwert von 5%.

Werden die beiden Anlagen hinsichtlich der Dosier-ungenauigkeit der drei vorgegebenen Sollmassen überprüft und dazu die Mittelwerte der einzelnen Sollwertdifferenzen der jeweiligen Anlage betrachtet, so lässt sich für die Anlage B bei 20 kg Sollmasse eine Abweichung von -0,03 kg, bei 40 kg Sollmasse von +0,34 kg und bei 60 kg von -0,53 kg feststellen (Tab. 4.5). Die Anlage A (Tab. 4.6) weist bei 20 kg und 40 kg Sollmasse eine mittlere Abweichung von -0,07 bzw. -0,04 kg, bei 60 kg Sollmasse sogar eine Abweichung von +0,56 kg auf.

Neben den mittleren Genauigkeiten der Massendosierungen interessiert auch die Präzision der Futterdosierungen. Diese ist aus den jeweiligen Standardabweichungen (s) und Variationskoeffizienten (VK) erkennbar. Die Dosierpräzision der Anlage B wird durch folgende mittlere Standardabweichungen gekennzeichnet: 20 kg Sollmasse $\pm 0,64$ kg, 40 kg Sollmasse $\pm 1,20$ kg und 60 kg Sollmasse $\pm 2,11$ kg, so dass die VK-Werte zwischen 2,9 und 3,5% liegen (siehe Tab. 4.5). Diese Werte sind ein Maß für die Gesamtstreuung (Streuung zwischen und innerhalb der geprüften Ventile). Die Standardabweichungen für die Dosierung der 20 kg und 40 kg Sollmassen fallen bei der Anlage A im Vergleich zur Anlage B höher aus (siehe Tab. 4.6). Für 20 kg Sollmasse ergibt sich eine Standardabweichung von $\pm 0,92$ kg, für 40 kg Sollmasse von $\pm 2,91$ kg und für 60 kg Sollmasse von $\pm 1,61$ kg. Die entsprechenden VK-Werte sind 4,6%, 7,2% beziehungsweise 2,7%.

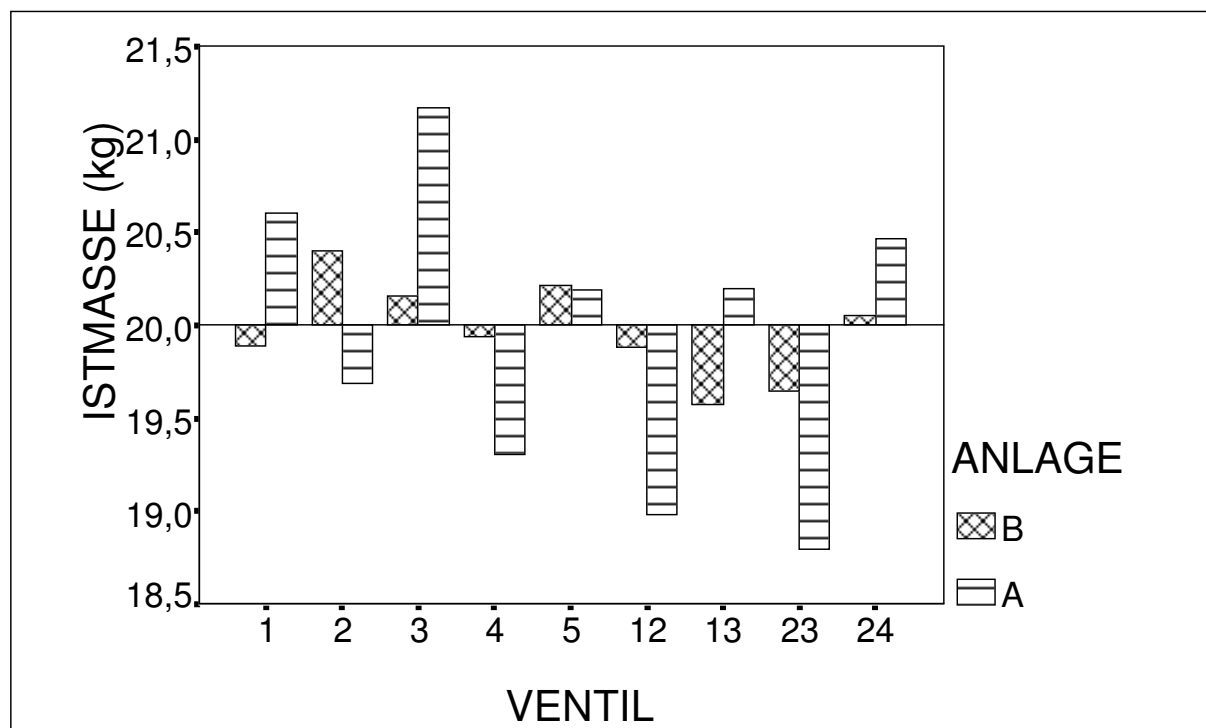


Abbildung 4.64: Quantitative Dosiergenauigkeit der beiden Flüssigfütterungsanlagen für die Sollmasse von 20 kg

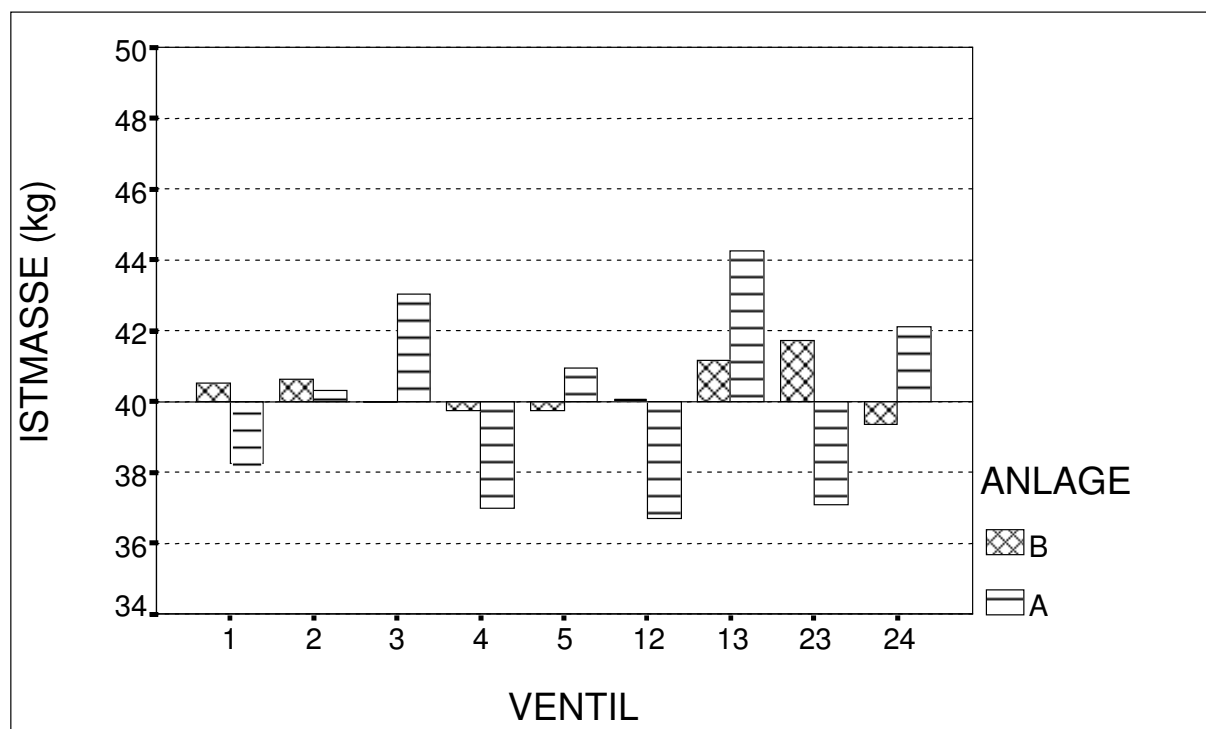


Abbildung 4.65: Quantitative Dosiergenauigkeit der beiden Flüssigfütterungsanlagen für die Sollmasse von 40 kg

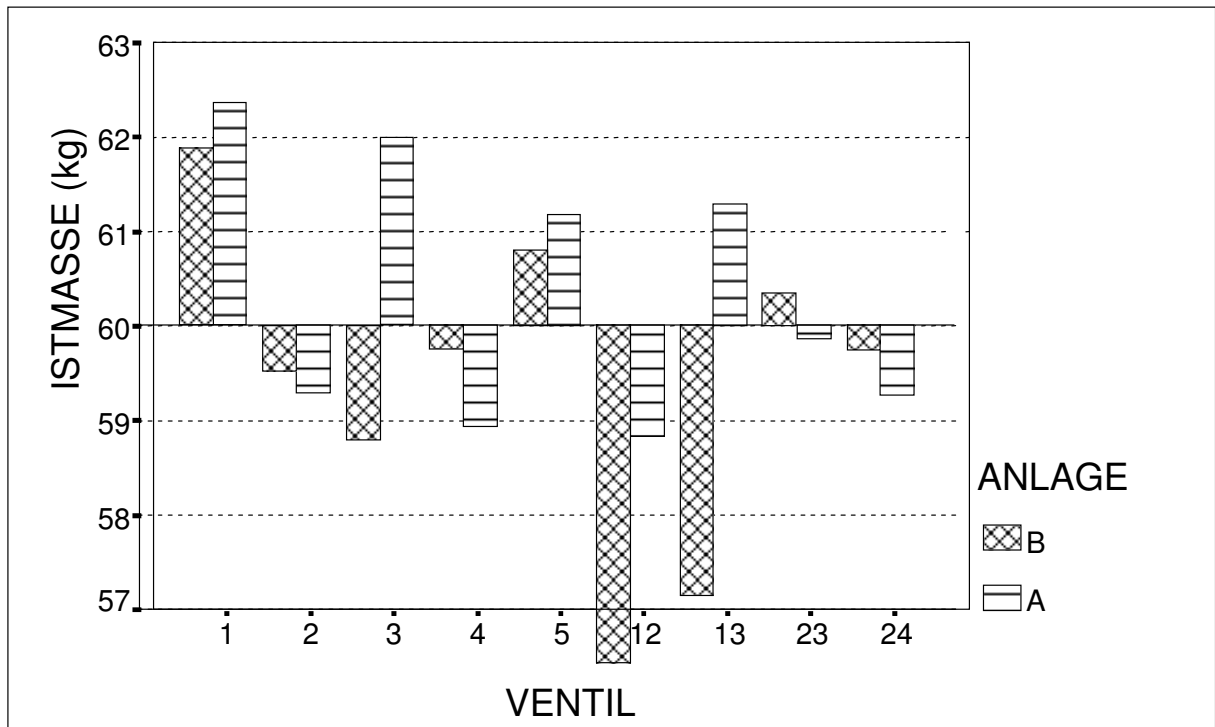


Abbildung 4.66: Quantitative Dosiergenauigkeit der beiden Flüssigfütterungsanlagen für die Sollmasse von 60 kg

Entsprechend den in Tabellen 4.5 bis 4.7 aufgeführten Variationskoeffizienten verhalten sich auch die Dosierfehler. Bei der Anlage B liegt der Dosierfehler über alle Ventile betrachtet für die 20 kg Ausdosierung bei 3,3, für 40 kg bei 3,8 und für 60 kg bei 4,4%. Damit liegt die Anlage B im Mittel unter einem Dosierfehler von 5%. Einzelne Ventile überschreiten diesen Grenzwert. Innerhalb der 20 kg-Durchgänge sind dies Ventil 2 mit 5,78% und Ventil 13 mit 5,75%. Bei 40 kg Sollmasse kommt neben diesen beiden Ventilen (6,22 bzw. 5,19%) auch noch Ventil 23 mit 6,04% hinzu. Im Falle der 60 kg-Variante liegen die Ventile 1, 12 und 13 im Dosierfehler über 5%. Im Durchschnitt der drei Sollmassenstufen in Tabelle 4.7 überschreiten an der Anlage B nur die Ventile 12 und 13 einen Dosierfehler von 5%.

Deutlich ungünstiger liegen die Dosierfehler der Anlage A (Tab. 4.6). Der mittlere Dosierfehler beträgt bei einer Sollmasse von 20 kg 4,9%, bei 40 kg 7,2% und bei 60 kg 3,6%. Mit den Ventilen 1, 3, 4, 12 und 23 überschreiten bei der 20 kg-Variante fünf Ventile den Fünf-Prozent-Grenzwert. Im Falle der Dosierung von 40 kg bleiben nur die Ventile 2 und 5 im Dosierfehler unter der Fünf-Prozent-Marke. Wesentlich besser schneidet die Anlage A bei der 60 kg-Ausdosierung ab. Lediglich das erste Ventil überschreitet mit 6,8% die Fünf-Prozent-Hürde. Im Mittel aller Sollmassenstufen (Tab. 4.7) überschreiten alle Ventile mit Ausnahme der Ventile 2 und 5 die Fünf-Prozent-Grenze für den Dosierfehler mehr oder weniger deutlich.

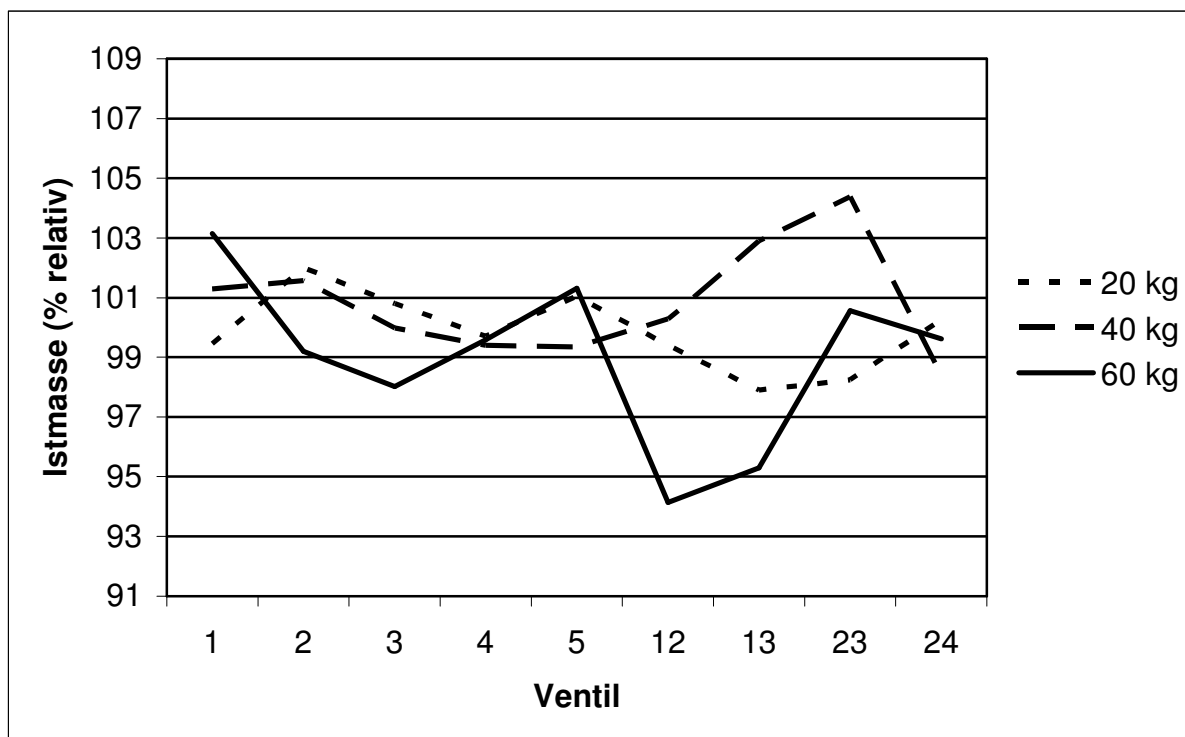


Abbildung 4.67: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlage B (relativ)

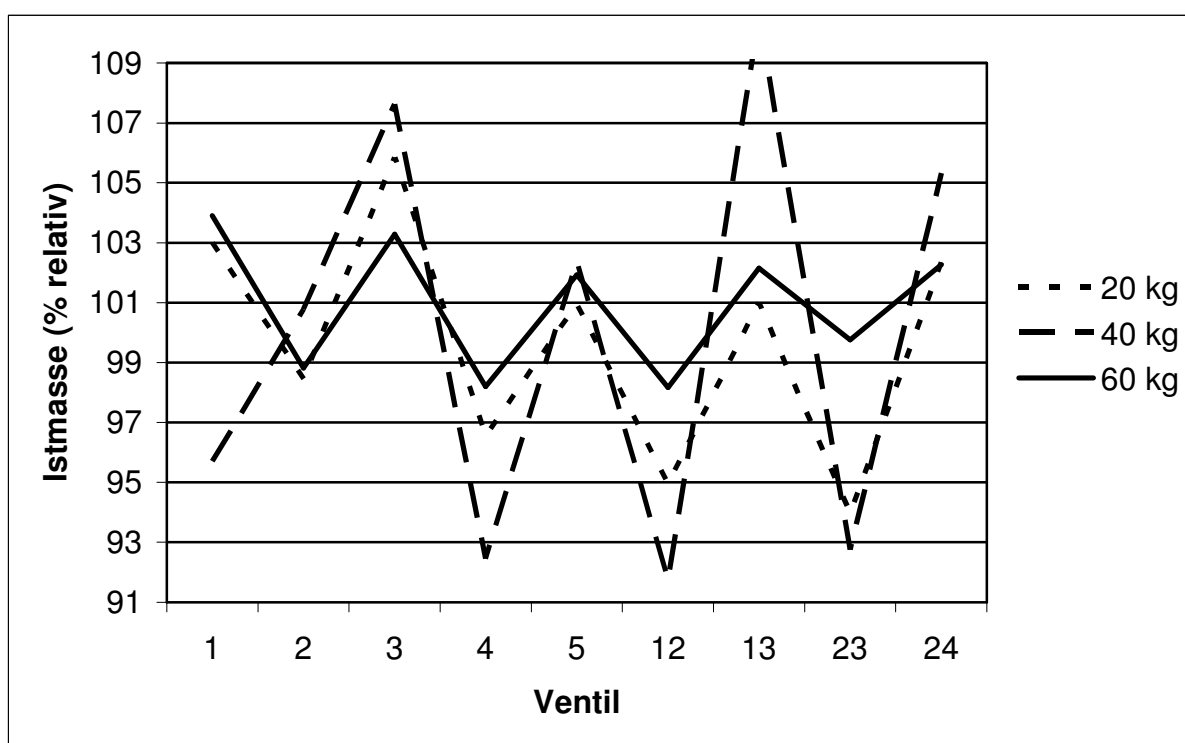


Abbildung 4.68: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlage A (relativ)

Die Frage, ob die unabhängigen Faktoren Rührwerk, Sollmasse und Ventilposition einen Einfluss auf die quantitative Dosiergenauigkeit haben, wurde mit Hilfe von Varianzanalysen geprüft. Detaillierte Ergebnisübersichten zur Varianzanalyse befinden

sich im Tabellenanhang (Tab. 8.23). Die dreifaktorielle Varianzanalyse zeigte, dass die Hauptfaktoren Anlagentyp und Sollmasse keinen deutlichen Einfluss ($p > 0,05$) auf die quantitative Dosiergenauigkeit haben. Für den Faktor Ventilposition wird dagegen ein hoch signifikanter ($p < 0,001$) Effekt ausgewiesen (siehe auch Abb. 4.67, 4.68 und 4.69). Die Dreifach-Wechselwirkungen zwischen den unabhängigen Faktoren sind nicht signifikant. Die Interaktionen zwischen Sollmasse und Ventil sind besonders deutlich ausgeprägt ($p < 0,001$). Dies bedeutet, dass die Dosiergenauigkeit an den einzelnen Ventilen je nach Sollmasse an verschiedenen Ventilpositionen abweicht (vergleiche auch Abbildung 4.64 bis 4.66). Der Faktor Anlage zeigt in der quantitativen Dosiergenauigkeit keine gesicherten Wechselwirkungen.

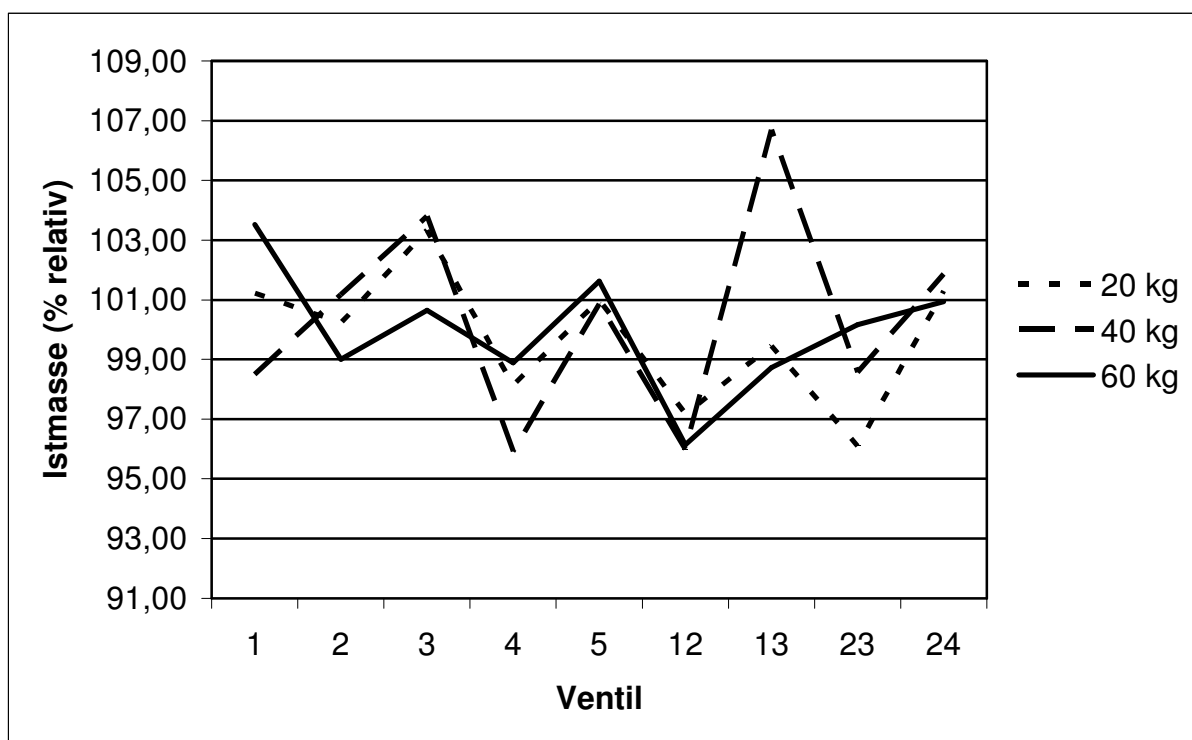


Abbildung 4.69: Quantitative Dosiergenauigkeit der beiden Anlagen (relativ)

Die zweifaktorielle Varianzanalyse, die zur Analyse der kombinierten Wirkung von Sollmasse und Ventilposition auf die Zuteilgenauigkeit innerhalb einer Anlage durchgeführt wurde, zeigt, dass die Ventilposition bei der Anlage B einen unabhängigen Einfluss auf die quantitative Dosiergenauigkeit hat (Anhangtabelle 8.23). Die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Sollmasse und Ventilposition ist jedoch höchst signifikant ($p < 0,001$; siehe auch Abb. 4.67). Bei der Anlage A ist die Sollmasse für sich alleine hinsichtlich der quantitativen Dosiergenauigkeit von geringer Bedeutung für die Varianzerklärung. Die Ventilposition hat jedoch einen höchst signifikanten ($p < 0,001$) Einfluss. Dies gilt auch für die Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren (vergleiche Abb. 4.68). Innerhalb der drei Sollmassenstufen zeigt die zweifaktorielle

ANOVA nur einen hoch gesicherten Effekt der Anlage bei der Dosierung von 60 kg. Unabhängig von der Sollmasse bestehen hoch signifikante Differenzen zwischen den Ventilen. Die gesicherten Wechselwirkungen zwischen Anlage und Ventil machen deutlich, dass die beiden Anlagen in den Dosierungen an einzelnen Ventilen differierten.

4.4 Qualitative Dosiergenauigkeit

Die qualitative Dosiergenauigkeit bezieht sich auf die Zusammensetzung der an den einzelnen Dosierstreckenventilen ausdosierten Mengen. Im ersten Versuch wurde der Einfluss der Rührwerke auf die Dosiergenauigkeit bewertet. Die Untersuchung umfasste die Rohnährstoffe Trockenmasse, Rohasche und Rohprotein sowie die Mineralstoffe Calcium, Phosphor, Kupfer und Zink bei Sollmassen von 5 und 25 kg. Der zweite Versuch diente dem Vergleich zweier unterschiedlicher Flüssigfütterungsanlagen. Die vorgenannten Mineralstoffe wurden nur für die 20 kg-Ausdosierung untersucht. Ansonsten blieben die Analysen auf Trockenmasse, Rohasche und Rohprotein beschränkt.

4.4.1 Einfluss des Rührwerkes auf die qualitative Dosiergenauigkeit

4.4.1.1 Trockenmasse

Das Propellerkranz-Rührwerk ist hinsichtlich der qualitativen Dosiergenauigkeit dem Kreuzbalken-Rührwerk überlegen (siehe Tabelle 4.8 und 4.9). Der durchschnittliche Dosierfehler (DF) beträgt beim Propellerkranz-Rührwerk für die 25 kg-Ausdosierung 1,3% und bei 5 kg-Dosierung 2,5%. Das Pendant weist hingegen einen Dosierfehler von 4,0% (25 kg) bzw. 5,0% (5 kg) auf. Die Sollwertabweichung beträgt für den Propellerkranz-Rührer für die 25 kg-Sollmasse +0,09% bei einem Mittelwert von 21,53% und für die 5 kg-Sollmasse -0,29% bei einem Mittel von 21,15%. Für das Originalrührwerk ergaben sich Abweichungen von +0,48% (Mittel 21,92%) bzw. -0,16% (Mittel 21,28%) für die 25 kg- und die 5 kg-Variante.

Auch bei den einzelnen Ventilen überschreitet kein einziges Ventil beim Propellerkranz-Rührwerk die kritische Marke für den Dosierfehler von 5%. Beim Kreuzbalken-Rührwerk hingegen weisen sowohl bei der 5 kg- als auch bei der 25 kg-Ausdosierung die Hälfte aller Ventile einen Dosierfehler von 5% und mehr auf. Wird bei der 25 kg-Variante die Grenze bei den Ventilen 1, 3, 4 und 16 um etwa 0,7 bis 2,6% übertroffen, liegt der Dosierfehler bei den 5 kg-Ausdosierungen für jedes zweite Ventil deutlich im zweistelligen Bereich.

Tabelle 4.8: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (TM%)

25 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
0	21,52	0,04	0,2	0,6	22,20	0,31	1,4	5,0
1	21,44	0,00	0,0	0,0	22,33	0,33	1,5	5,7
2	21,73	0,10	0,5	1,8	21,87	0,35	1,6	3,6
3	21,60	0,13	0,6	1,4	22,07	0,79	3,6	6,6
4	21,47	0,03	0,1	0,3	22,63	0,43	1,9	7,6
12	21,82	0,52	2,4	4,2	21,79	0,02	0,1	1,7
13	21,25	0,06	0,3	1,2	21,41	0,06	0,3	0,4
14	21,19	0,05	0,3	1,4	21,54	0,11	0,5	1,0
15	21,68	0,04	0,2	1,3	21,60	0,41	1,9	2,6
16	21,56	0,14	0,6	1,2	21,73	0,91	4,2	5,6
Gesamt	21,53	0,20	0,9	1,3	21,92	0,39	1,8	4,0
Sollwertdiff.	+0,09				+0,48			

Tabelle 4.9: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (TM%)

5 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
0	21,47	0,00	0,0	0,1	22,55	2,41	10,7	16,4
1	21,36	0,19	0,9	1,3	21,58	0,07	0,3	1,0
2	21,30	0,05	0,2	0,9	22,63	1,93	8,5	14,5
3	21,43	0,17	0,8	0,8	21,62	0,85	3,9	4,8
4	21,19	0,28	1,3	2,5	19,90	1,66	8,3	14,9
12	20,80	0,09	0,4	3,4	20,96	0,27	1,3	3,5
13	20,83	0,08	0,4	3,2	20,07	2,57	12,8	18,4
14	20,96	0,01	0,0	2,3	21,10	0,08	0,4	2,0
15	21,06	0,04	0,2	2,0	21,60	3,99	18,5	19,4
16	21,10	0,07	0,3	1,9	20,80	1,17	5,7	8,5
Gesamt	21,15	0,24	1,1	2,5	21,28	0,91	4,3	5,0
Sollwertdiff.	-0,29				-0,16			

Auch in den Abbildungen 4.70 und 4.71 wird die unterschiedliche Dosiergenauigkeit für die beiden Rührwerke deutlich. Gerade bei einer Sollmasse von 5 kg offenbart das Kreuzbalken-Rührwerk eine große Variationsbreite an den einzelnen Ventilen. Die größten gerichteten Abweichungen treten dabei nach unten an Ventil 4 mit -1,54% und nach oben an Ventil 2 mit +1,19% auf. Die Differenz beträgt somit zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert 2,73%, beim Propellerkranz-Rührwerk weichen die beiden Extremwerte (Ventil 0 und 12) nur um 0,67% voneinander ab. Bei der 25 kg-Variante zeigt sich der Propellerkranz überlegen, hier beträgt die Extremwertdifferenz 0,63% bei der Kreuzbalken-Variante hingegen 1,22%.

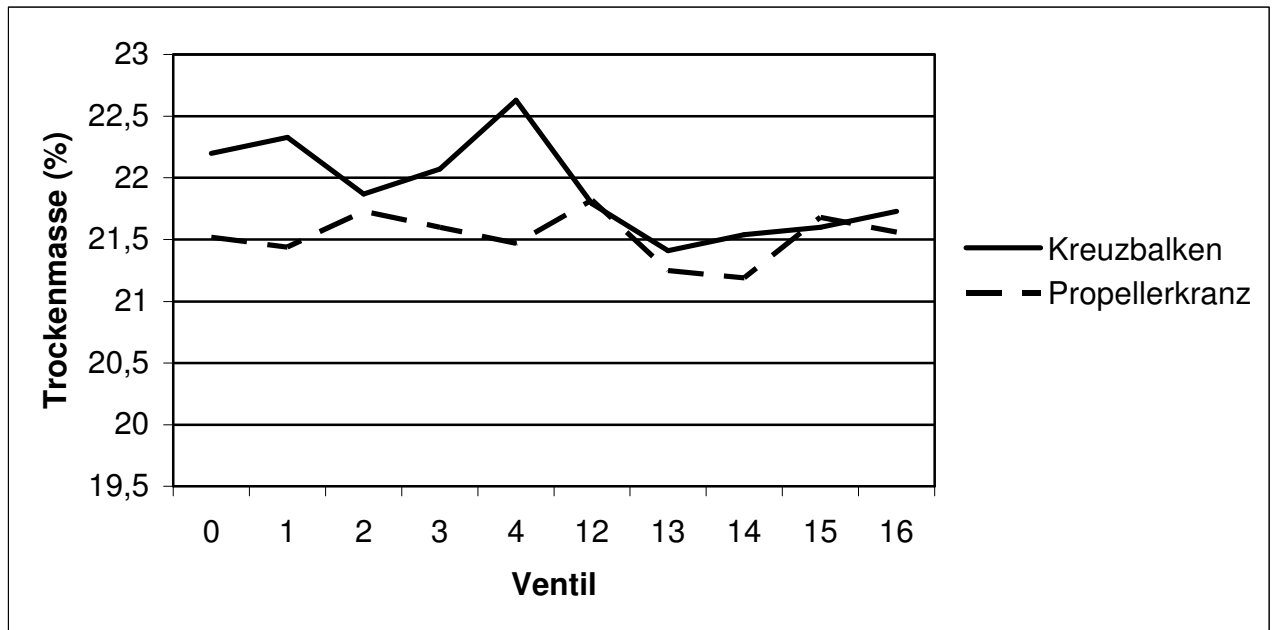


Abbildung 4.70: Variation des Trockenmassegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg

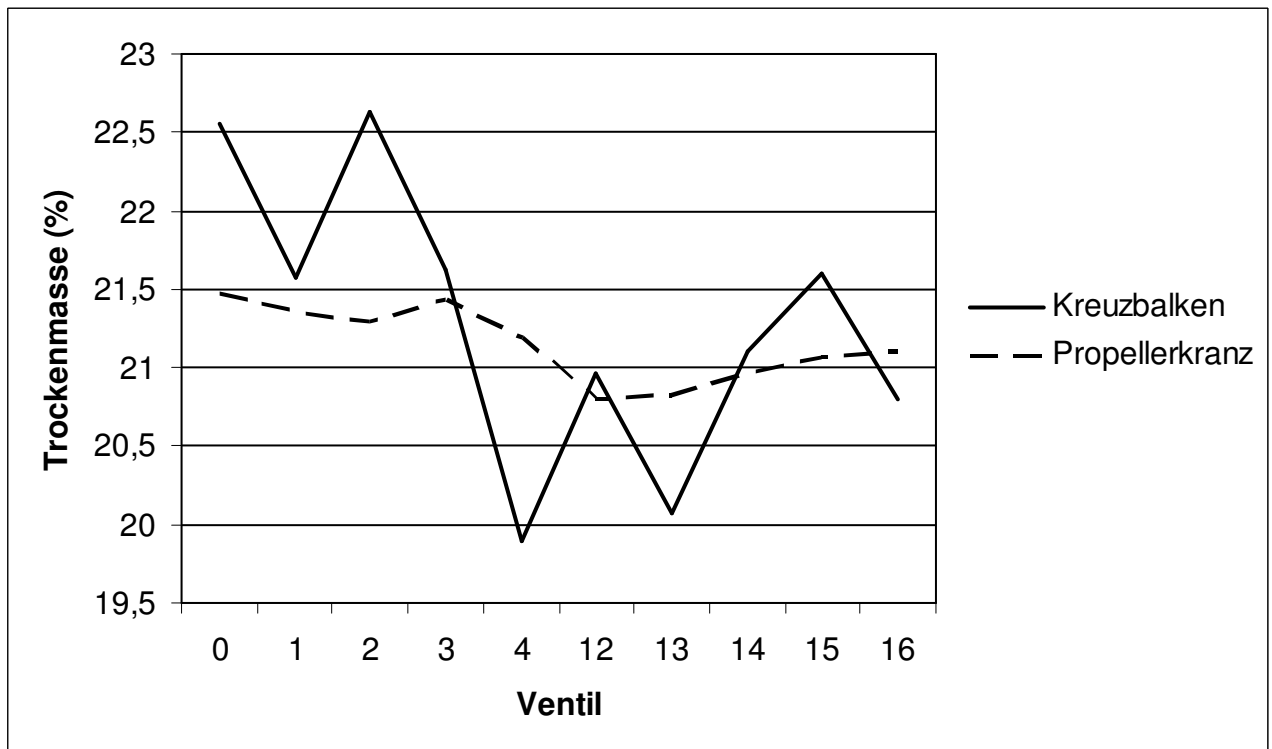


Abbildung 4.71: Variation des Trockenmassegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg

Bei einer Überprüfung von Sollmasse und Ventilposition auf die Dosiergenauigkeit innerhalb der jeweiligen Anlagenkonfiguration mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse treten beim Kreuzbalken-Rührwerk keine signifikanten Unterschiede für die bei-

den Sollmassen sowie den zehn Ventilen und auch keine Wechselwirkungen zwischen den beiden Faktoren auf (Anhangtabelle 8.25). Ganz im Gegensatz dazu liefert die zweifaktorielle Varianzanalyse für das Propellerkranz-Rührwerk (Anhangtabelle 8.25) aufgrund des wesentlich geringeren Restfehlers einen hoch signifikanten Einfluss von Sollmasse und Ventilposition auf die Dosierqualität, ebenso besteht eine signifikante Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren bei Trockenmasse, Rohprotein, Calcium, Kupfer und Zink.

Einfaktorielle Varianzanalysen innerhalb von Rührwerk und Sollmasse (Anhangtabelle 8.26) verdeutlichen die wesentlich höhere Streuung der ausdosierten Trockenmassegehalte beim Kreuzbalken-Rührwerk. Vor allem bei der 5 kg-Variante ist die ungenaue Arbeitsweise dieser Anlagenkonfiguration erkennbar. Bei dem Kreuzbalkenrührer liegen daher weder zwischen den einzelnen Ventilen noch zwischen den Sollmassen statistisch gesicherte Unterschiede vor. Beim Propellerkranz-Rührwerk kann hingegen für die Ventile nur bei niedrigen Dosierstufe ein Einfluss auf die Qualität der Trockenmassedosierung festgestellt werden.

4.4.1.2 Rohasche

Für die Rohaschefraktion zeigt sich wiederum eine Überlegenheit des Propellerkranz-Rührwerkes, die aber nicht so deutlich ausfällt wie bei der Trockenmasse. Die Messwerte beider Rührwerke finden sich in den Tabellen 4.10 und 4.11.

Tabelle 4.10: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (RA und RP in % der TM)

25 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP
0	5,92	1,4	22,07	1,3	6,18	5,8	21,98	2,6
1	6,09	3,9	22,18	1,3	6,34	14,7	22,25	2,8
2	6,02	4,5	21,88	0,1	6,03	3,3	21,83	1,9
3	6,02	5,2	21,65	1,5	6,00	6,0	21,91	1,1
4	6,16	7,9	22,01	0,5	6,04	5,6	21,90	1,2
12	5,81	2,1	21,76	0,8	5,79	2,9	21,70	2,7
13	5,89	0,8	21,48	2,5	5,84	2,6	22,08	0,9
14	5,80	2,8	21,50	3,1	6,02	3,6	21,82	1,1
15	5,82	2,5	21,76	0,7	5,90	3,7	22,25	1,9
16	5,54	12,8	21,75	1,6	5,94	3,9	22,21	2,7
Gesamt	5,91	3,2	21,80	1,5	6,01	4,6	21,99	1,3
Sollwertdiff.	+0,01		-0,10		+0,11		+0,09	

Der Dosierfehler über alle Ventile beträgt bei der Propellerkranz-Variante für die 25 kg-Ausdosierung 3,2% und für die 5 kg-Ausdosierung 2,6%. Trotz der guten Gesamtergebnisse mit dem Propellerkranz-Rührwerk zeigen sich höhere Dosierfehler an den

Ventilen 3 (5,2%), 4 (7,9%) und 16 (12,8%) bei einer Sollmasse von 25 kg sowie an den Ventilen 4 (6,2%) und 12 (5,2%) bei 5 kg Sollmasse.

Tabelle 4.11: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (RA und RP in % der TM)

5 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP
0	5,80	1,2	21,80	1,0	5,67	5,8	22,30	3,4
1	6,04	4,5	21,77	3,4	5,72	9,5	22,28	2,9
2	5,94	2,2	21,49	3,0	5,74	5,0	22,33	2,1
3	5,79	3,0	21,31	3,0	5,50	13,3	22,19	1,3
4	6,05	6,2	21,91	1,2	5,49	7,5	22,14	2,7
12	6,09	5,2	22,00	0,5	5,52	7,1	22,27	2,5
13	5,97	1,3	21,94	0,5	5,72	6,4	22,00	4,1
14	5,96	4,2	22,03	1,7	5,56	7,8	22,10	2,3
15	5,95	3,6	21,68	1,2	5,43	11,1	22,18	1,8
16	5,97	2,3	21,16	3,9	5,69	4,1	22,42	2,9
Gesamt	5,96	2,6	21,71	2,3	5,60	7,0	22,22	2,0
Sollwertdiff.	+0,06		-0,19		-0,30		+0,32	

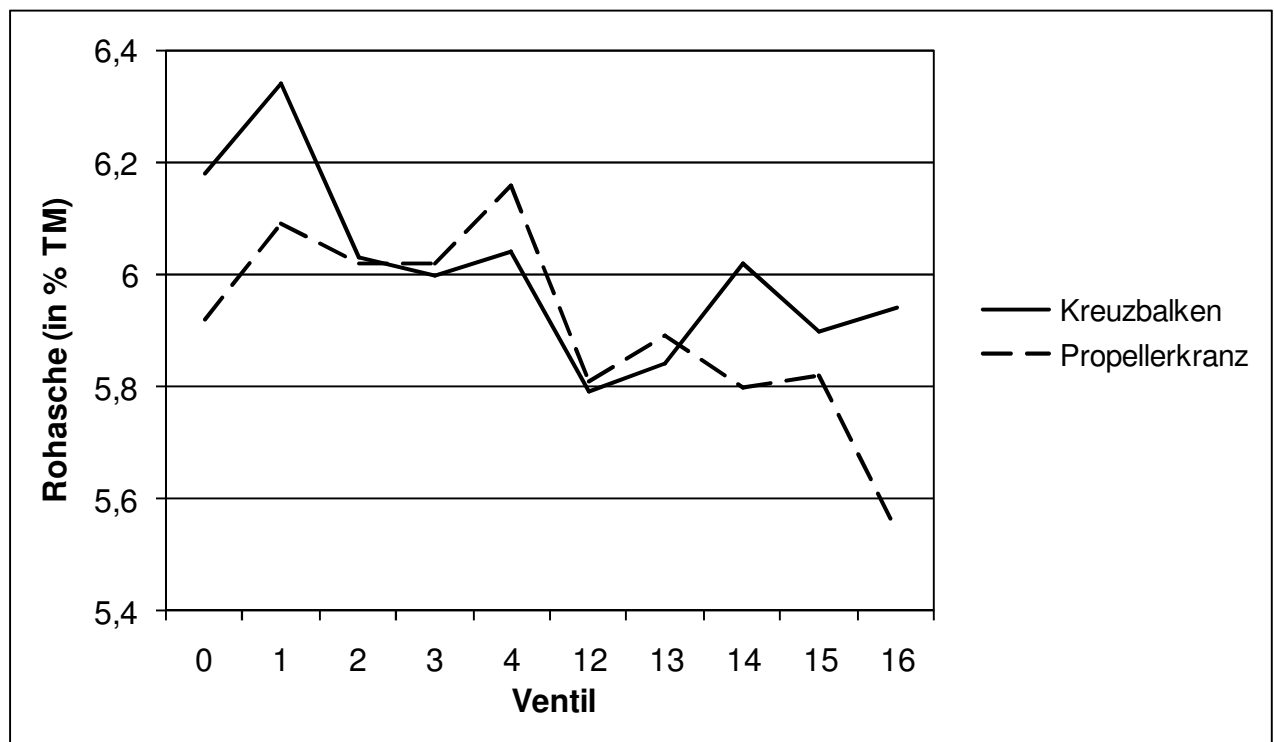


Abbildung 4.72: Variation des Rohaschegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg

Für das Kreuzbalken-Rührwerk ergibt sich ein mittlerer Dosierfehler von 4,6% bei 25 kg und von 7,0% bei 5 kg Sollmasse. Im Mittel entsteht dabei eine Abweichung von +0,11 bzw. -0,30% vom Sollwert. Auffallend sind höhere Dosierfehler für die Sollmasse von 25 kg, im besonderen bei Ventil 0 (5,8%), 1 (14,7%), 3 (6,0%) und 4

(5,6%) sowie bei der 5 kg-Variante bei allen Dosierventilen mit Ausnahme der Nummer 16, sie weisen Dosierfehler bis zu 13,3% auf. In den Abbildungen 4.72 und 4.73 wird die Variation der einzelnen Ventile grafisch verdeutlicht.

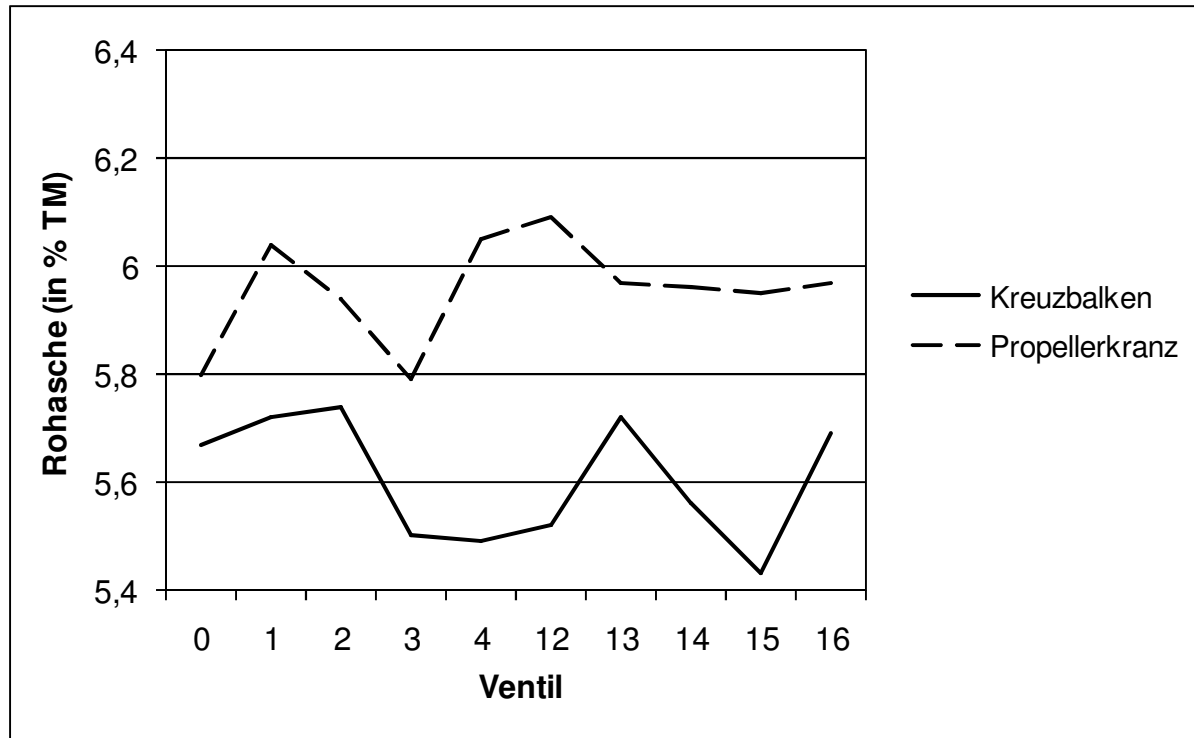


Abbildung 4.73: Variation des Rohaschegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg

Die qualitative Dosiergenauigkeit der Rohasche beim Kreuzbalken-Rührwerk weist signifikante Mittelwertunterschiede für die Sollmasse aus, während Differenzen zwischen den einzelnen Ventilen mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse nicht abgesichert werden können (Anhangtabelle 8.25). Zwischen den beiden Rührwerken besteht bei der 5 kg-Sollmasse ein höchst signifikanter Unterschied zuungunsten des Kreuzbalken-Rührwerks. Innerhalb von Rührwerk und Sollmasse bestehen keine gesicherten Unterschiede im Rohaschegehalt des ausdosierten Futters an den einzelnen Positionen.

Innerhalb der Propellerkranz-Variante bestehen nach der zweifaktoriellen Varianzanalyse keine statistisch gesicherten Unterschiede im Merkmal Rohasche (Anhangtabelle 8.25 und 8.26). Dies trifft auch bei der einfachen Varianzanalyse der beiden Faktoren zu.

4.4.1.3 Rohprotein

Bei der Untersuchung des Rohproteingehaltes erfüllen beide Rührwerke die an die Dosiergenauigkeit gestellten Anforderungen. Über alle Ventile dosiert die Flüssigfütterungsanlage 25 kg mit dem Propellerkranz- bzw. dem Kreuzbalken-Rührwerk bei einem Dosierfehler von 1,5 bzw. 1,3%. Dabei weicht das Gesamtmittel mit -0,10 bzw. +0,09% nur gering vom Sollwert ab. Gerichtete Über- oder Unterdosierungen sind nicht erkennbar. Beim Propellerkranz-Rührwerk ist der höchste Dosierfehler mit nur 3,1% an Ventil 14 zu finden (Tab. 4.10) Ähnlich positiv stellt sich die Situation beim Kreuzbalken-Rührwerk dar. Für 25 kg Sollmasse erreicht das schlechteste Dosierventil einen Dosierfehler von 2,8% (Ventil 1).

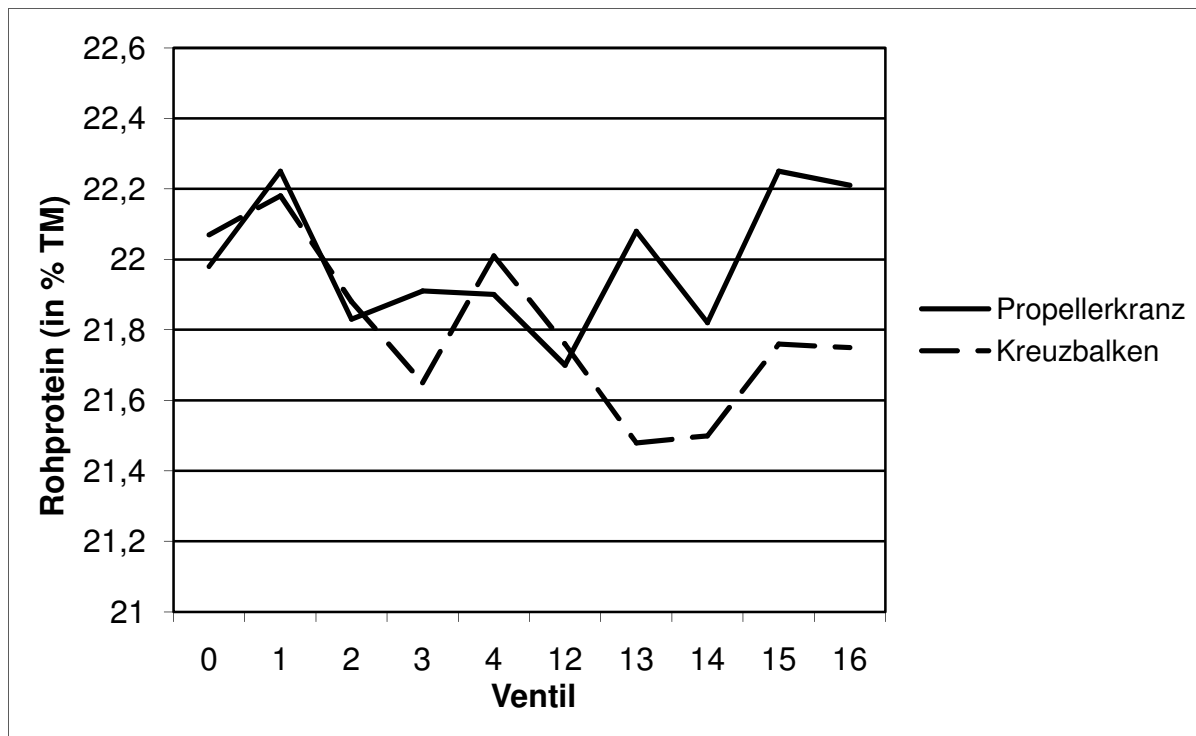


Abbildung 4.74: Variation des Rohproteingehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg

Bei der Sollmasse 5 kg zeigen sowohl das Propellerkranz-Rührwerk mit einem mittleren Dosierfehler von 2,3% als auch das Kreuzbalken-Rührwerk mit 2,0% eine hohe Dosiergenauigkeit. Die Dosierfehler schwanken beim Propellerkranz-Rührwerk zwischen 0,5 und 3,9% und beim Kreuzbalken-Rührwerk von 1,3 bis 4,1%. Deutliche Sollwertdifferenzen sind für beide Rührwerke nicht zu erkennen. Im Mittel aller Ventile weichen das Propellerkranz- und das Kreuzbalken-Rührwerk um -0,19 bzw. um +0,32% vom Sollwert ab.

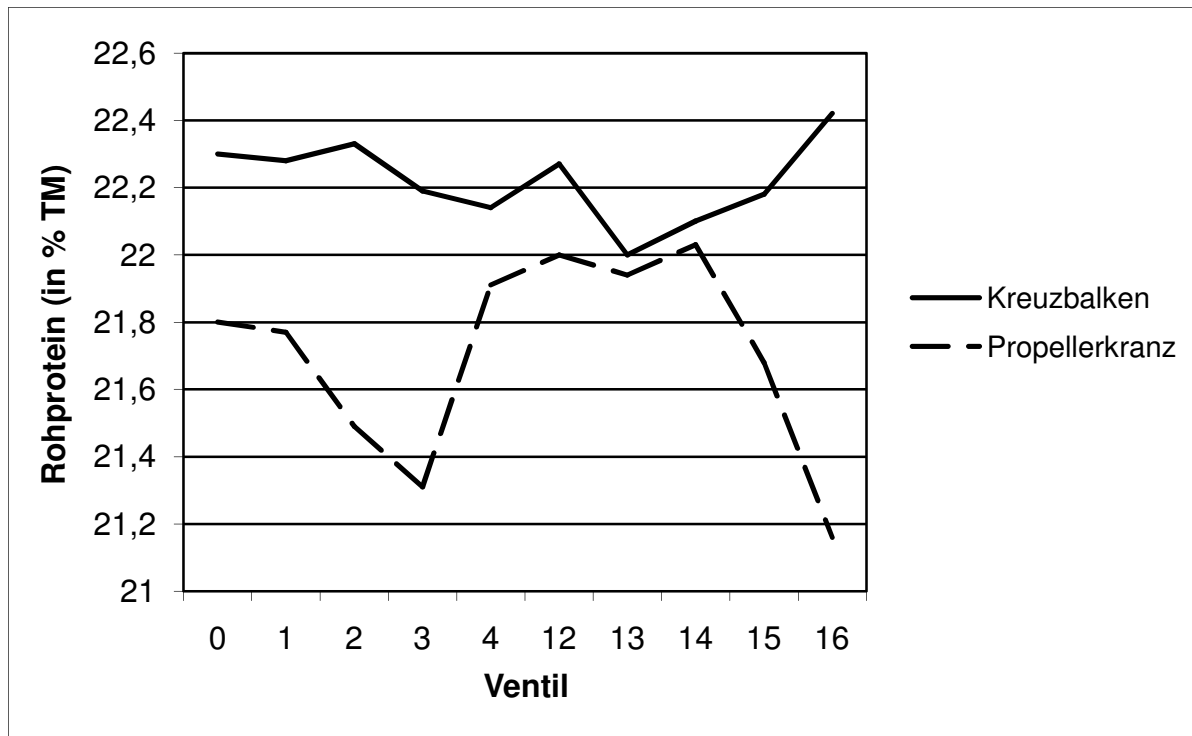


Abbildung 4.75: Variation des Rohproteingehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg

Die dreifaktorielle Varianzanalyse zeigt eine höchst signifikante Differenz zwischen den beiden Rührwerken (Anhangtabelle 8.24). Auch die Interaktion zwischen Rührwerk und Sollmasse ist statistisch hoch gesichert. Nach der zweifaktoriellen Varianzanalyse ergibt sich für das Kreuzbalken-Rührwerk ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Sollmassen, wohingegen bei der Propellerkranz-Variante die Ventile signifikant voneinander abweichen (siehe Anhangtabelle 8.25). Auch für das Merkmal Rohprotein ist vor allem bei der 5 kg-Variante ein statistisch hoch gesicherter Unterschied zuungunsten des Kreuzbalken-Rührwerkes zu erkennen. Innerhalb des Propellerkranz-Rührwerkes treten gesicherte Unterschiede zwischen den Ventilpositionen auf. Bei der Kreuzbalken-Variante ist durch die größere Streuung der Faktor Ventilposition weder bei der 5 kg- noch bei der 25 kg-Dosierstufe signifikant (Siehe Anhangtabelle 8.26).

4.4.1.4 Mengenelemente (Ca, P)

In der Qualität der Calcium-Ausdosierung überschreitet die Flüssigfütterungsanlage mit dem Propellerkranz-Rührwerk im Mittel aller Ventile die 5%-Grenze beim Dosierfehler für die 25 kg-Durchgänge um rund 0,9%. Für die Anlage mit dem Kreuzbalken-Rührer variiert der Dosierfehler dagegen im Mittel um 10% (Tab. 4.12). An den einzelnen Ventilen wird dieser Unterschied noch deutlicher. Die Propellerkranz-Variante überschreitet den Dosierfehler von 5% nur an Ventil 1, 2, 12 und 16, wohingegen bei

Kreuzbalken nur Ventil 16 unter dieser Grenze bleibt. Die Sollwertabweichung ist im Mittel aller geprüften Ventile mit dem Propellerkranz-Rührwerk mit -0,13 gegenüber +0,27 g Ca pro kg niedriger.

Hinsichtlich der Dosiergenauigkeit stellt sich die Situation (Tab. 4.13, Abb. 4.79) bei einer Ausdosierung von 5 kg Flüssigfutter analog zur 25 kg-Variante dar. Mit dem Propellerkranz-Rührwerk dosiert die Anlage im Mittel mit einem Dosierfehler von 5,4%, wobei nur die Ventile 0, 1, 3 und 4 über 5% liegen. Für das Kreuzbalken-Rührwerk ergibt sich ein mittlerer Dosierfehler von 18,0%. Auch die Abweichung vom Sollwert überschreitet mit -1,25 g Ca/kg die analytische Wiederholbarkeit um ein Mehrfaches, ganz im Gegensatz zur Propellerkranz-Variante mit einer Sollwertdifferenz von +0,20 g Ca/kg TM.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse der Calcium-Dosierung zeigt, dass Rührwerk, Sollmasse und Ventilposition statistisch gesichert miteinander interagieren (Anhangtabelle 8.24). Innerhalb des Faktors Rührwerk zeigt die zweifaktorielle ANOVA beim Kreuzbalken-Rührwerk einen deutlich höheren Restfehler. Folglich zeigen sich unabhängig von der Sollmasse keine gesicherten Unterschiede zwischen den Ventilen im Gegensatz zu den Ergebnissen mit dem Propellerkranz-Rührwerk (Anhangtabelle 8.25). Die einfaktorielle Varianzanalyse ergibt mit Ausnahme der 5 kg-Ausdosierung beim Kreuzbalken-Rührwerk hoch gesicherte Unterschiede zwischen den einzelnen Dosierventilen (Anhangtabelle 8.26).

Wie aus den Tabellen 4.12 und 4.13 ersichtlich wird, liegen die mittleren Sollwertdifferenzen für Phosphor beim Einsatz der beiden Rührwerke und Sollmassendosierungen in einem relativ engen Bereich von absolut -0,12 bis +0,10 g pro kg TM. Im Dosierfehler erreicht das Kreuzbalken-Rührwerk bei der 25 kg- und der 5 kg-Ausdosierung im Mittel aller Ventile 3,3%. Für den Propellerkranz-Rührer beträgt der mittlere Dosierfehler 5,8 bzw. 2,8%.

Dementsprechend zeigen sich Überschreitungen der 5%-Grenze im Dosierfehler bei der Dosierung von 25 kg Flüssigfutter mit dem Propellerkranz-Rührwerk an sieben von zehn Ventilen und mit dem Kreuzbalken-Rührwerk nur an einem Ventil (Tab. 4.12).

Aus der dreifaktoriellen Varianzanalyse wird deutlich, dass die Faktoren Sollmasse und Ventilposition keine Auswirkungen auf die Dosiergenauigkeit für das Merkmal Phosphor ausüben (Anhangtabelle 8.24). Signifikant sind aber der Faktor Rührwerk ($p < 0,001$) sowie die Wechselwirkung zwischen Rührwerk und Ventil ($p < 0,01$). Innerhalb der beiden Rührwerke lassen sich beim Kreuzbalken-Rührwerk statistisch hoch gesicherte Unterschiede zwischen den Ventilen feststellen (Anhangtabelle 8.25).

Die zweifaktorielle ANOVA innerhalb der Sollmasse zeigt für beide Dosierstufen einen sehr deutlichen Rührwerkseffekt ($p < 0,001$).

Tabelle 4.12: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (Ca und P in g/kg TM)

25 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW Ca	DF Ca	MW P	DF P	MW Ca	DF Ca	MW P	DF P
0	8,62	1,9	8,18	10,0	10,16	20,3	7,52	2,5
1	9,33	7,5	8,12	7,8	9,53	11,6	7,36	3,4
2	9,07	5,6	7,60	10,4	9,14	11,4	7,39	2,3
3	8,79	2,4	7,80	8,1	8,39	6,1	7,29	3,5
4	8,80	1,3	7,86	7,3	8,61	6,3	7,38	2,7
12	7,98	10,9	7,61	3,7	9,25	5,9	7,30	5,3
13	8,51	3,6	7,28	7,6	9,55	9,0	7,40	2,2
14	8,36	4,9	7,33	4,8	9,03	12,7	7,39	3,0
15	8,52	3,5	7,52	3,8	8,29	5,9	7,59	0,7
16	8,38	6,4	7,13	6,0	8,42	4,4	7,67	1,7
Gesamt	8,64	5,9	7,64	5,8	9,04	10,0	7,43	3,3
Sollwertdiff.	-0,13		+0,09		+0,27		-0,12	

Tabelle 4.13: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (Ca und P in g/kg TM)

5 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW Ca	DF Ca	MW P	DF P	MW Ca	DF Ca	MW P	DF P
0	9,23	6,6	7,63	6,2	8,00	23,1	7,53	1,3
1	9,24	8,1	7,80	10,0	7,04	32,3	7,38	4,3
2	9,14	4,6	7,60	3,0	7,18	19,3	7,43	2,4
3	9,25	5,5	7,49	1,0	7,67	19,5	7,41	2,3
4	9,24	6,7	7,63	3,0	7,05	24,1	7,33	3,9
12	8,74	2,8	7,78	3,0	7,56	16,7	7,37	2,9
13	8,56	2,8	7,67	2,3	7,56	20,0	7,45	1,9
14	8,74	0,6	7,81	7,7	7,54	16,2	7,45	2,0
15	8,76	0,3	7,59	0,8	7,81	15,1	7,36	4,7
16	8,84	1,4	7,55	0,5	7,74	12,8	7,84	9,7
Gesamt	8,97	5,4	7,65	2,8	7,52	18,0	7,45	3,3
Sollwertdiff.	+0,20		+0,10		-1,25		-0,10	

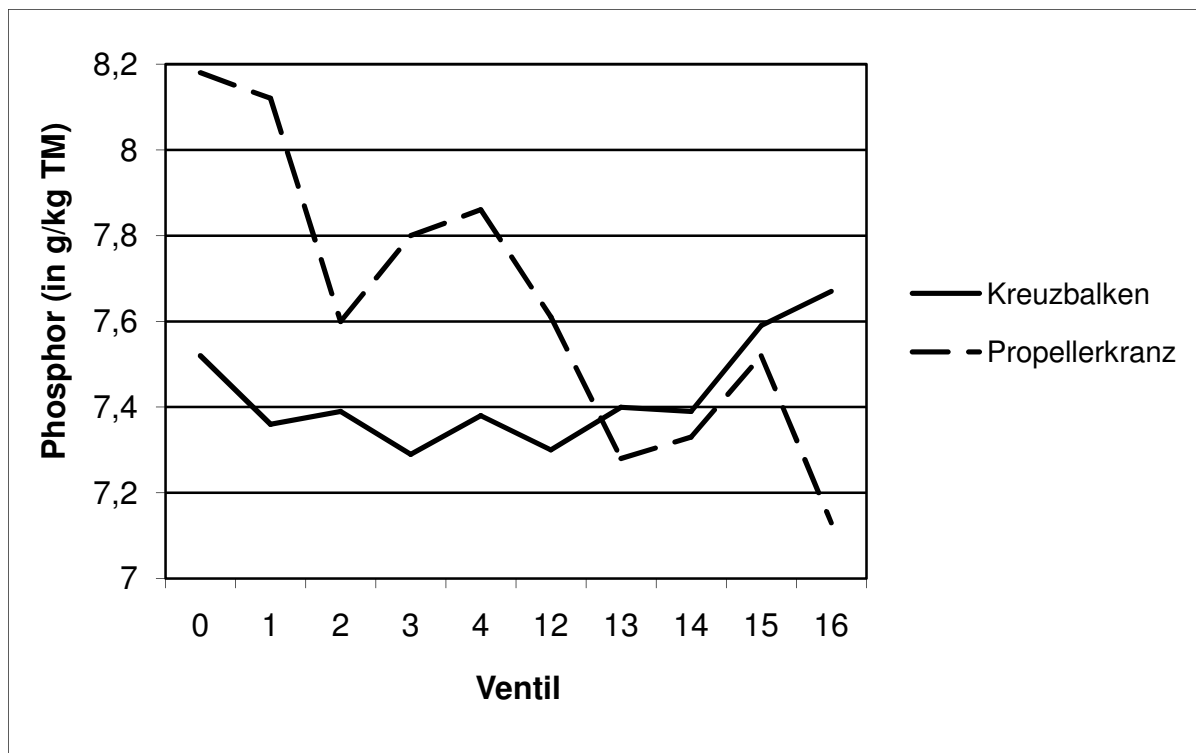


Abbildung 4.76: Variation des Phosphorgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg

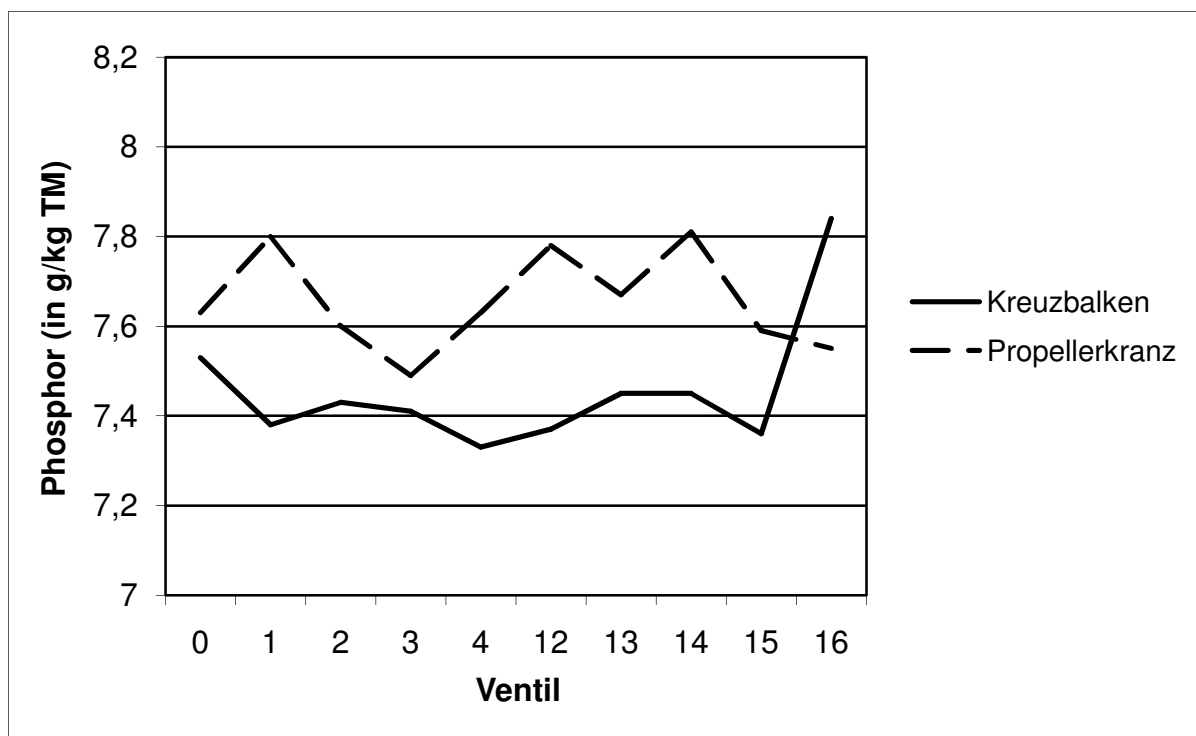


Abbildung 4.77: Variation des Phosphorgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg

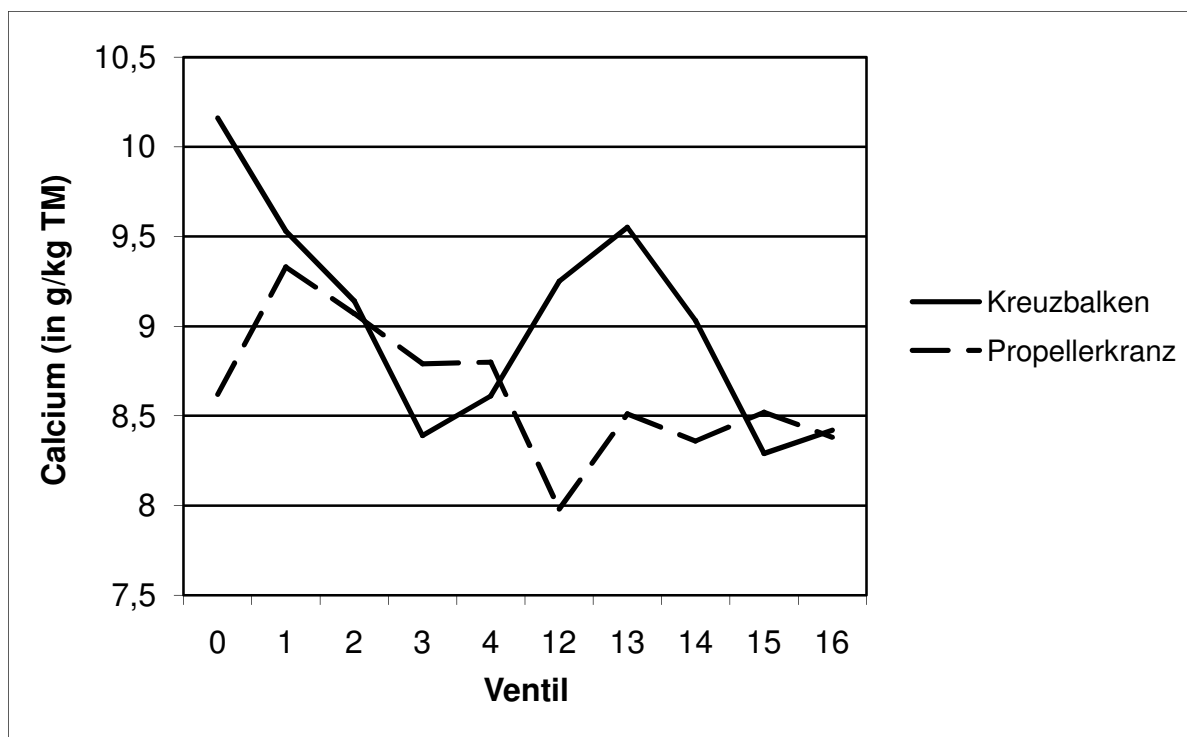


Abbildung 4.78: Variation des Calciumgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg

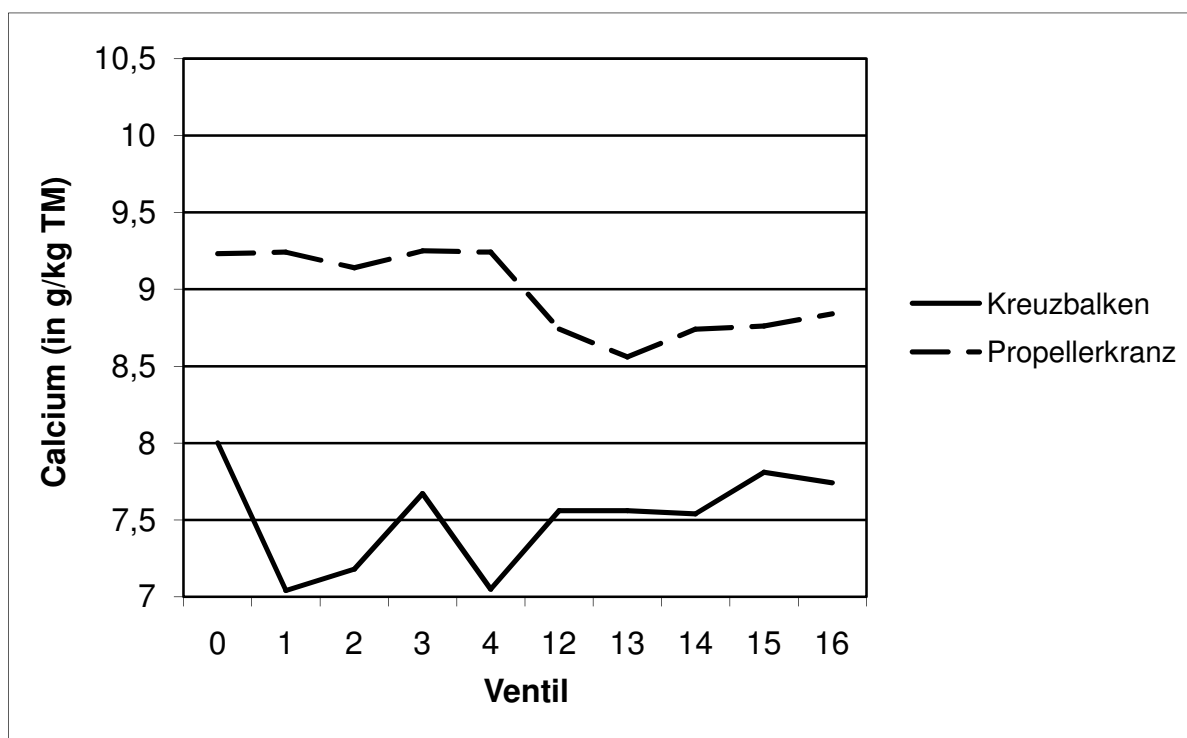


Abbildung 4.79: Variation des Calciumgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg

4.4.1.5 Spurenelemente (Zn, Cu)

Die qualitative Dosiergenauigkeit für das Spurenelement Zink ist sowohl mit dem Propellerkranz- als auch mit dem Kreuzbalken-Rührwerk nicht ausreichend. Bei einer Ausdosierung von 25 kg Flüssigfutter bleibt der Dosierfehler nur an zwei bzw. drei Ventilen unter der 5%-Marge (siehe Tabelle 4.14). Im Mittel aller Ventile liegt der Dosierfehler für die Propellerkranz-Variante im Mittel bei 8,3%, für Kreuzbalken bei 7,1%.

Tabelle 4.14: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (Zn und Cu in mg/kg TM)

25 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW Zn	DF Zn	MW Cu	DF Cu	MW Zn	DF Zn	MW Cu	DF Cu
0	177	5,4	28,1	6,3	190	11,3	30,4	5,9
1	184	8,7	28,4	6,2	185	8,4	30,1	6,5
2	187	7,0	28,1	6,1	183	5,2	29,4	1,2
3	187	10,1	29,1	5,0	170	4,8	29,5	1,5
4	183	6,1	27,7	7,8	175	2,0	31,1	6,8
12	177	3,7	29,6	1,1	182	5,6	28,9	6,1
13	179	2,6	29,6	0,8	184	6,5	28,6	5,1
14	193	22,4	30,1	2,1	176	6,2	29,8	3,1
15	190	10,1	29,8	2,8	176	0,6	28,2	6,2
16	181	7,2	29,6	4,0	187	12,9	31,1	4,8
Gesamt	184	8,3	29,0	5,2	181	7,1	29,7	3,4
Sollwertdiff.	+9		-0,7		+6		+0,0	

Tabelle 4.15: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (Zn und Cu in mg/kg TM)

5 kg	Propellerkranz				Kreuzbalken			
Ventil-Nr.	MW Zn	DF Zn	MW Cu	DF Cu	MW Zn	DF Zn	MW Cu	DF Cu
0	191	9,4	30,6	5,3	168	10,7	29,9	7,6
1	197	12,9	31,0	5,7	155	16,5	30,9	6,4
2	193	10,5	31,5	7,3	167	9,8	31,9	9,0
3	204	20,4	32,9	12,6	162	7,9	30,2	3,9
4	192	13,4	31,1	5,0	156	14,8	30,1	4,0
12	184	5,3	29,9	2,5	169	4,1	29,9	1,3
13	185	9,9	30,1	2,0	175	9,5	28,6	5,1
14	179	3,6	30,9	5,3	171	3,2	30,7	4,7
15	178	2,2	31,4	8,7	173	1,3	30,7	3,5
16	184	8,4	30,0	1,2	168	8,1	30,8	5,0
Gesamt	189	12,6	30,9	7,3	167	8,5	30,4	5,2
Sollwertdiff.	+14		-1,3		-8		-0,7	

Auch bei einer Ausdosierung von 5 kg Flüssigfutter zeigen sich leichte Vorteile für das Kreuzbalken-Rührwerk, ohne dass aber ein Rührwerk den minimalen Anforderungen an die Dosiergenauigkeit genügt (siehe Tab. 4.15). Der mittlere Dosierfehler beträgt beim Propellerkranz-Rührwerk 12,6% und für Kreuzbalken 8,5%. Die Variation innerhalb der Ventile ist bei beiden Rührwerks-Varianten beachtlich. Der Dosierfehler schwankt beim Kreuzbalken von 1,3% an Ventil 15 bis 16,5% an Ventil 1. Für die

Propellerkranz-Variante bewegen sich die Werte zwischen 2,2% (Ventil 15) und 20,4% (Ventil 3).

Die dreifaktorielle Varianzanalyse liefert für die Faktoren Rührwerk und Sollmasse hoch signifikante Mittelwertunterschiede. Allerdings erschweren Wechselwirkungen zwischen den Hauptfaktoren die Interpretation der einzelnen Ergebnisse.

Innerhalb der Rührwerke zeigen sich bei der Auswertung signifikante Unterschiede bei beiden Rührwerken, der Sollmasseneffekt ist bei der Propellerkranz-Variante weniger stark ausgeprägt. Innerhalb der Sollmassen zeigt sich bei der 5 kg-Ausdosierung ein höchst signifikanter Unterschied zwischen den beiden Rührwerken. Die deutliche Wechselwirkung zwischen Rührwerk und Ventilposition zeigt, dass mögliche Effekte an den Ventilen von der Rührwerksvariante abhängig sind (siehe Anhangtabellen 8.24 bis 8.26).

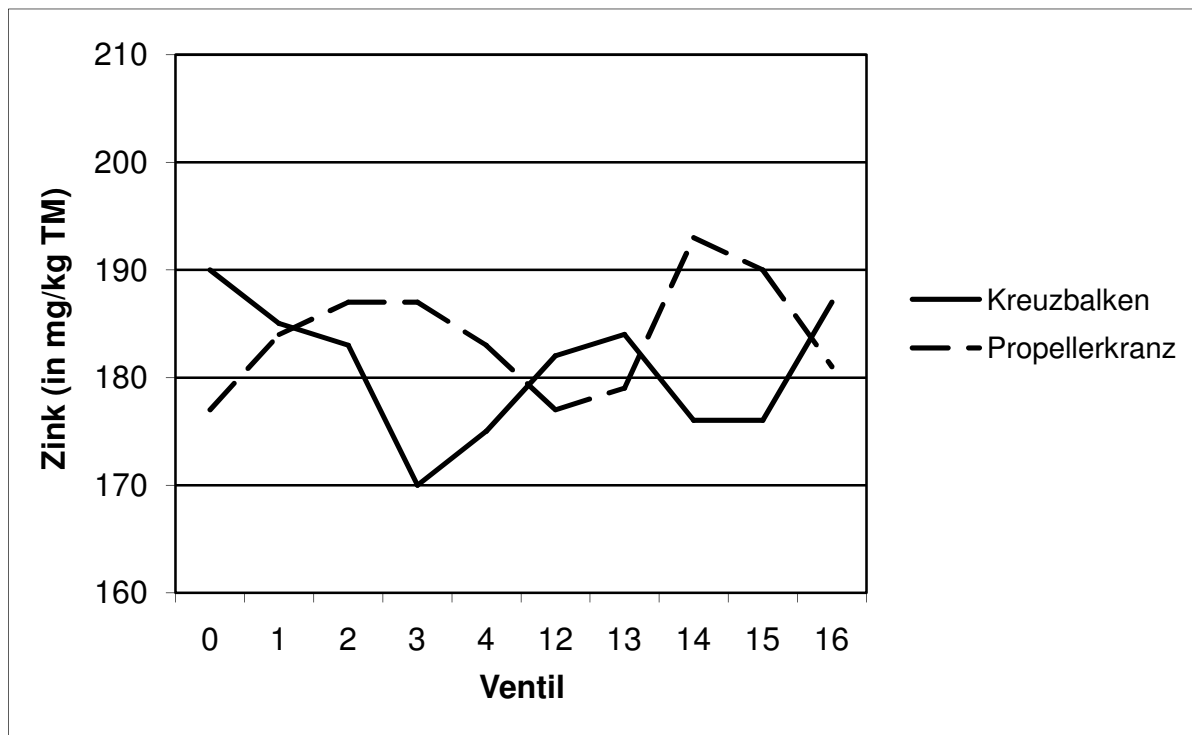


Abbildung 4.80: Variation des Zinkgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg

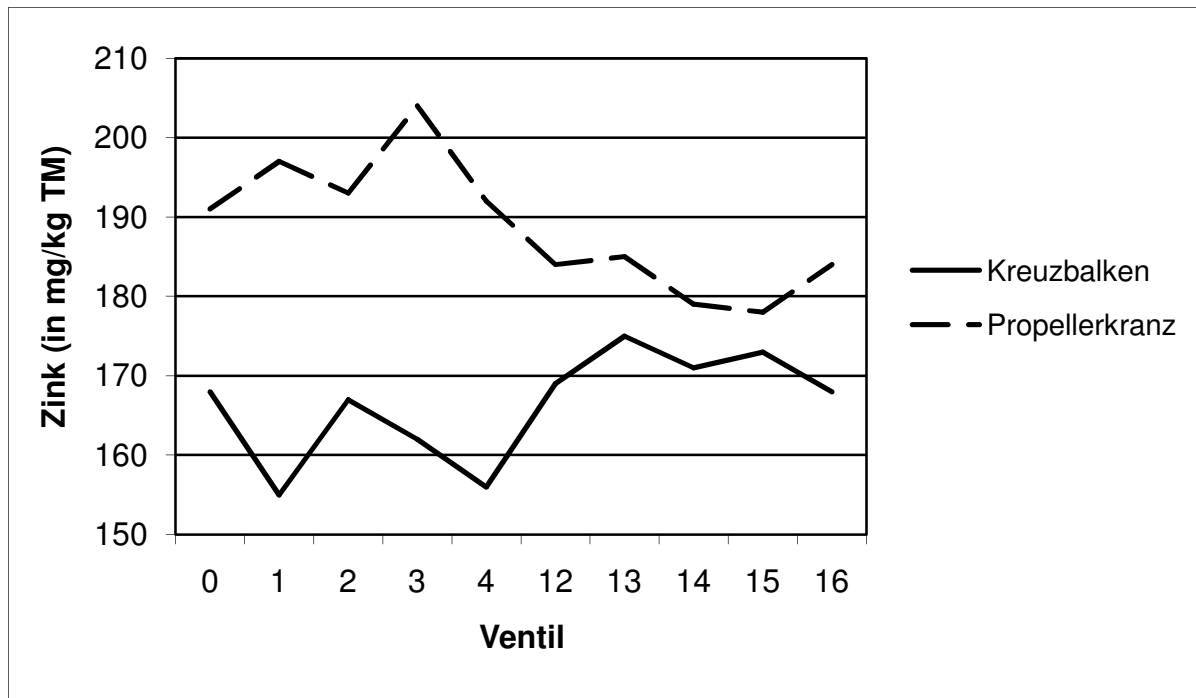


Abbildung 4.81: Variation des Zinkgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg

Die qualitative Dosiergenauigkeit für das Spurenelement Kupfer entspricht nur im Falle der 25 kg-Ausdosierung mit dem Kreuzbalken-Rührwerk bei einem mittleren Dosierfehler von 3,4% den gestellten Anforderungen. Aber innerhalb der Ventile überschreiten auch hier sechs von zehn die 5%-Marke. Aus der Sicht der Einzelventile zeigt das Propellerkranz-Rührwerk für die qualitative Dosiergenauigkeit eine gewisse Überlegenheit, was sich an dem nur halb so großen Restfehler festmachen lässt (Anhangstabelle 8.25). Nur vier der fünf Ventile in der ersten Querreihe des Rohrleitungssystems (Ventil 0 bis Ventil 4) überschreiten den Grenzwert geringfügig, wohingegen die übrigen fünf Ventile mit Dosierfehler von 0,8 bis 4,0% eine gute Dosierqualität aufweisen.

Die Ergebnisse für Ausdosierung von 5 kg Flüssigfutter sind abhängig vom jeweiligen Rührwerk. Für die Propellerkranz-Variante ergibt sich im Vergleich zur 25 kg-Variante mit einem Dosierfehler von 7,3% eine Verschlechterung der Dosierqualität, wobei nur drei Ventile einen Dosierfehler von weniger als fünf Prozent aufweisen. Im Vergleich dazu liegen nur drei der zehn Ventile beim Kreuzbalken-Rührwerk deutlich über der 5%-Marke, der mittlere Dosierfehler ist daher mit 5,2% niedriger.

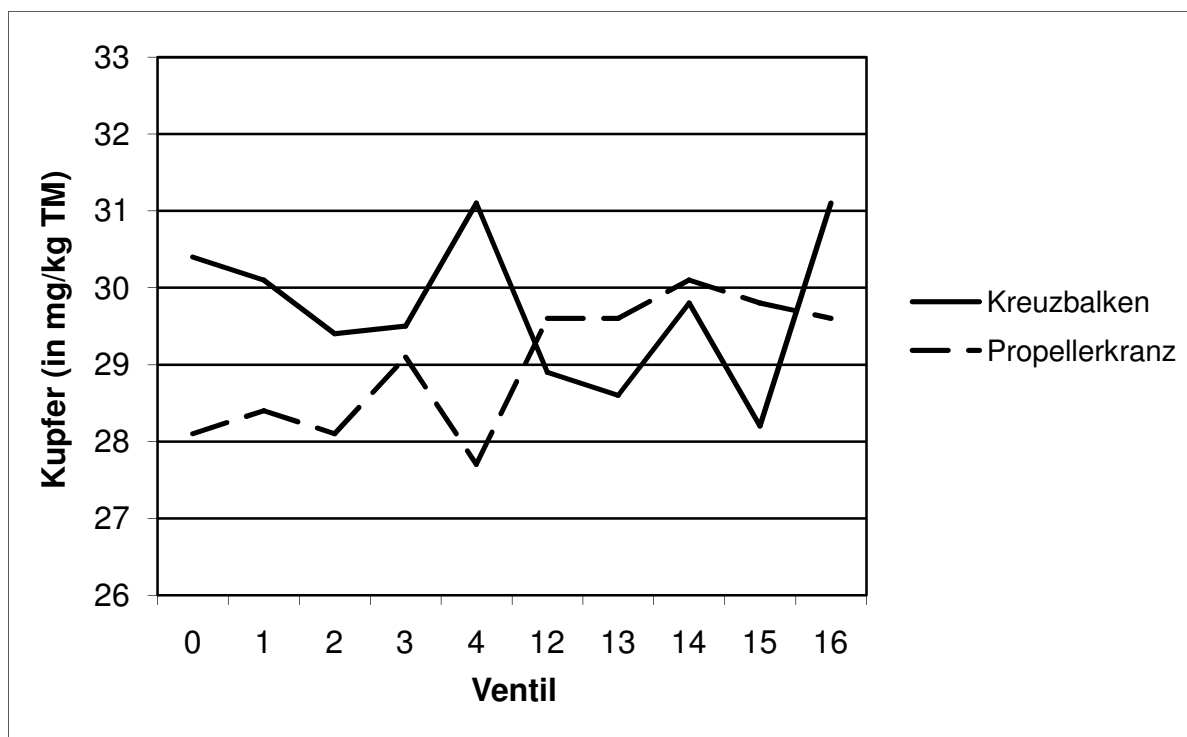


Abbildung 4.82: Variation des Kupfergehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg

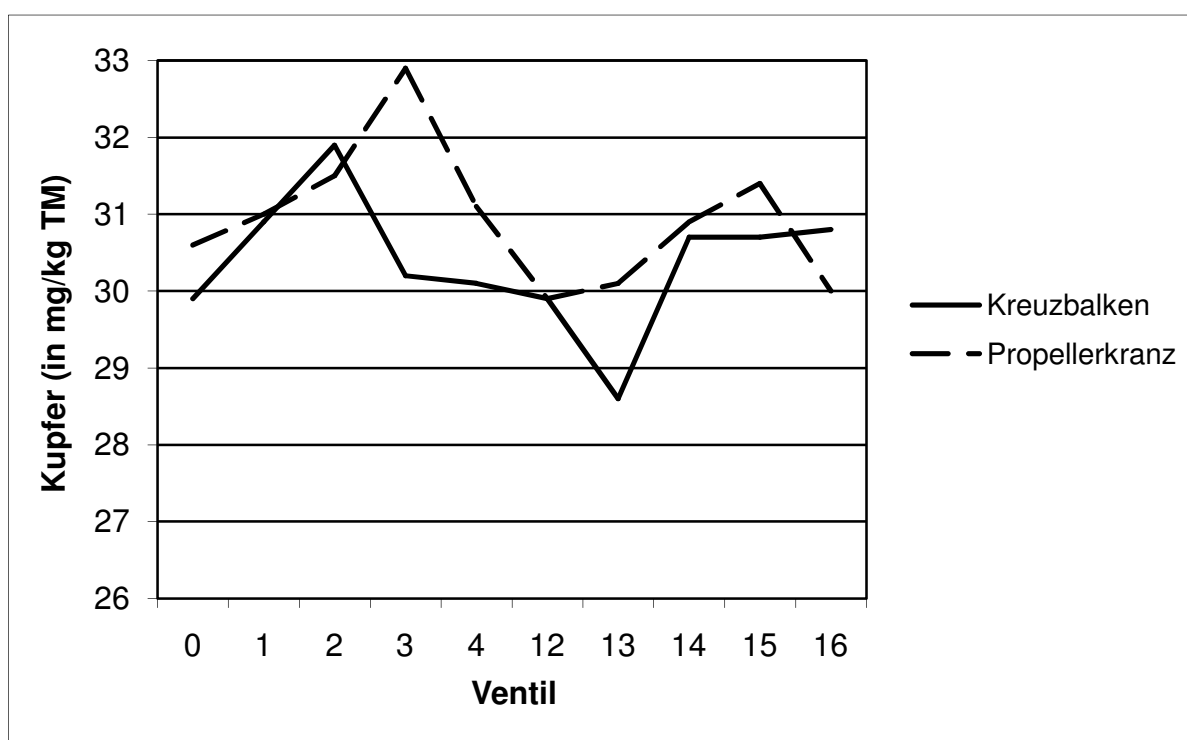


Abbildung 4.83: Variation des Kupfergehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg

In der dreifaktoriellen Varianzanalyse beim Kupfer sind alle Effekte mit Ausnahme des Rührwerks signifikant. Wie auch beim Zink lassen sich innerhalb des jeweiligen Rührwerks signifikante Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten der zwei Sollmassen feststellen. Die beiden Rührwerke zeigen für die unterschiedlichen Sollmasse signifikante Differenzen. Auch beim Faktor Ventilposition lassen sich Unterschiede innerhalb der Rührwerke statistisch absichern. Die Kupfergehalte an den einzelnen Ventilen sind beim Propellerkranz-Rührwerk abhängig von der Sollmasse, was die signifikante Wechselwirkung zwischen Sollmasse und Ventil zeigt (siehe Anhangtabelle 8.25). Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse sind nur bei der 5 kg-Variante des Kreuzbalken-Rührwerks keine statistisch gesicherten Unterschiede nachzuweisen, dies dürfte wiederum auf den höheren Restfehler zurückzuführen sein.

4.4.2 Einfluss der Anlagenkonfiguration auf die quantitative Dosiergenauigkeit

In den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen sind für die beiden Flüssigfütterungsanlagen von zwei verschiedenen Herstellern in Originalausstattung die Ergebnisse zur Untersuchung der qualitativen Dosiergenauigkeit der Futtermerkmale Trockenmasse, Rohasche und Rohprotein bei 20, 40 und 60 kg Ausdosierung festgehalten. Für die 20 kg-Dosierung wurden zusätzlich die Mengenelemente Calcium und Phosphor sowie die Spurenelemente Kupfer und Zink bestimmt. Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf neun einzelne Dosierventile, die in drei Ventilgruppen unterteilt sind. Die Ventile 1 bis 5 befinden sich auf den Ventilpositionen 0 bis 4 im ersten Ventilstrang (siehe 3.1.3), Ventil 6 und 7 befinden sich in der Mitte des Leitungssystems, während Ventil 8 und 9 die letzten beiden Ventile auf der Dosierstrecke darstellen.

4.4.2.1 Trockenmasse

Die Flüssigfütterungsanlage B dosiert das Flüssigfutter unabhängig von der Sollmasse über alle untersuchten Ventile mit einem Trockenmassegehalt von 21,83%. Im Durchschnitt liegt dieser Wert um 0,01% unter dem Sollwert. Der mittlere Dosierfehler beziffert sich auf 1,9%. Bei der Anlage A ergibt sich für alle Durchgänge über alle Ventile ein Mittelwert von 21,91% Trockenmasse. Die Sollwertabweichung beträgt dabei nur 0,03% bei einem mittleren Dosierfehler von 1,1%.

Für die Sollmasse von 20 kg dosierte die Anlage B das Flüssigfutter über alle Ventile mit einem Dosierfehler von 2,6% bezogen auf die Trockenmasse (siehe Tabelle 4.16)

bei einer Sollwertdifferenz von +0,06%. Den niedrigsten Dosierfehler wies Ventil Nr. 7 mit 1,4% auf, den höchsten Ventil Nr. 3 mit 6,9%.

Tabelle 4.16: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (TM in %)

20 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
1	22,57	0,17	0,77	4,4	21,95	0,47	2,14	2,9
2	22,31	0,01	0,05	2,6	22,64	0,00	0,00	2,3
3	21,24	0,93	4,40	6,9	22,20	0,10	0,43	0,8
4	22,10	0,01	0,07	1,6	22,32	0,20	0,89	1,8
5	22,08	0,22	1,01	2,4	22,21	0,04	0,18	0,6
6	21,40	0,22	1,04	2,8	22,30	0,04	0,20	1,0
7	21,47	0,01	0,04	1,4	22,04	0,14	0,66	1,0
8	21,19	0,13	0,62	3,3	22,11	0,03	0,14	0,2
9	22,15	0,00	0,00	1,8	22,15	0,06	0,26	0,4
Gesamt	21,83	0,51	2,34	2,6	22,21	0,20	0,89	1,3
Sollwertdiff.	+0,06				+0,09			

Im Vergleich zur Anlage B waren die Ergebnisse bei der Sollmasse von 20 kg für die Anlage A etwas verbessert (siehe Abbildung 4.84). Der mittlere Dosierfehler beträgt über alle Ventile nur 1,3%, wie der Tabelle 4.16 zu entnehmen ist. Dabei variierten auch die Ventile beim Dosierfehler nur zwischen 0,2% (Ventil 8) und 2,9% an Ventil 1. Signifikante Unterschiede traten zwischen den einzelnen Ventilen der Anlage A nicht auf. Die Differenz zwischen tatsächlichem Mittelwert und dem Sollwert war mit +0,09% im ähnlichen Bereich wie bei der Anlage B.

Auch die Differenz zwischen den Extremwerten betrug bei der Anlage B mit 1,38% Trockenmasse zwischen dem ersten und dem achten Ventil gegenüber 0,69% zwischen den beiden ersten Ventile bei der Anlage A genau das Doppelte.

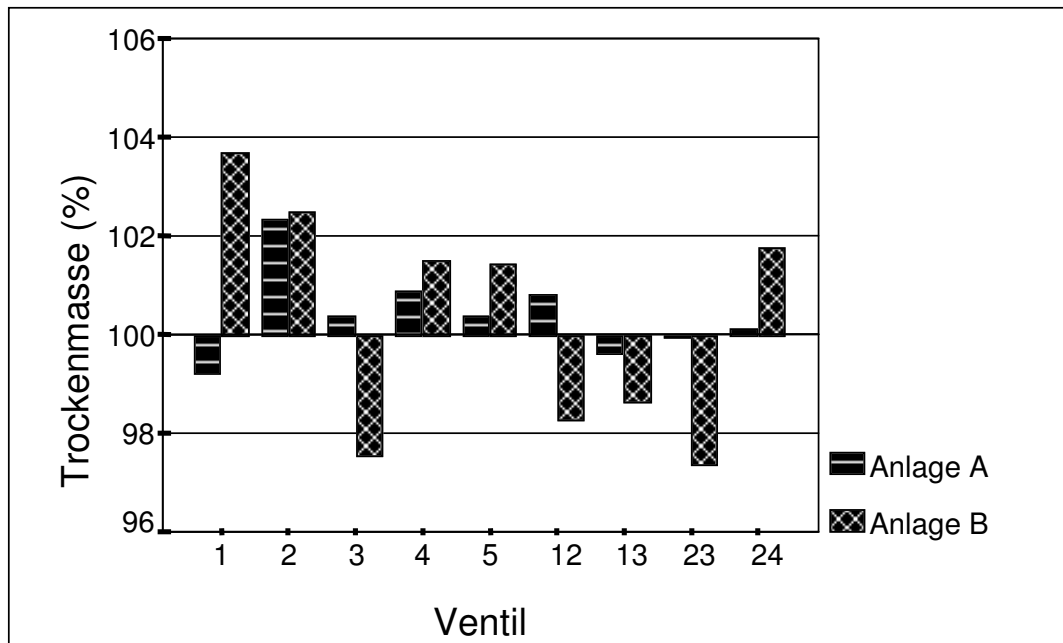


Abbildung 4.84: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt der beiden Fütterungsanlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

Eine nur leicht verbesserte qualitative Dosierqualität zeigten beide Flüssigfütterungsanlagen bei einer Sollmasse von 40 kg. Die Anlage B dosierte das Flüssigfutter über alle Ventile beim Trockenmassegehalt mit einem Dosierfehler von 2,1% (siehe Tabelle 4.17). Der Sollwert wurde dabei um 0,07% überschritten. Mit einem Dosierfehler von 0,7% wies Ventil 7 erneut den niedrigsten Dosierfehler auf, während Ventil 4 den höchsten Wert für den Dosierfehler erzielte.

Wie schon bei den 20 kg-Durchgängen zeigten sich auch bei 40 kg für die Anlage A eine sehr gute qualitative Dosiergenauigkeit. Bei einer minimalen Sollwertabweichung von -0,02% betrug der mittlere Dosierfehler über alle Ventile 1,1%. Der Dosierfehler variierte dabei zwischen 0,1% an Ventil 3 und 3,7% an Ventil 2.

Die Spanne zwischen Minimum und Maximum ist ähnlich der 20 kg-Variante bei der Anlage B mit 1,14% Trockenmasse zwischen dem dritten und achten Ventil wiederum höher als bei Anlage A, wo zwischen Ventil 7 und Ventil 8 nur 0,66% Trockenmasse liegen.

Tabelle 4.17: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 40 kg (TM in %)

40 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
1	21,32	0,19	0,87	2,4	21,57	0,01	0,05	0,2
2	21,06	0,16	0,76	3,5	21,25	0,51	2,41	3,7
3	20,99	0,28	1,36	4,4	21,54	0,03	0,13	0,1
4	21,65	0,48	2,22	2,2	21,73	0,06	0,26	1,1
5	21,62	0,34	1,57	1,7	21,56	0,12	0,54	0,6
6	21,77	0,19	0,85	1,4	21,33	0,09	0,42	1,4
7	21,74	0,06	0,28	0,7	21,22	0,02	0,08	1,6
8	22,13	0,06	0,28	2,5	21,88	0,02	0,10	1,7
9	21,89	0,35	1,59	2,7	21,64	0,28	1,32	1,8
Gesamt	21,58	0,38	1,76	2,1	21,52	0,22	1,03	1,1
Sollwertdiff.	-0,07				-0,02			

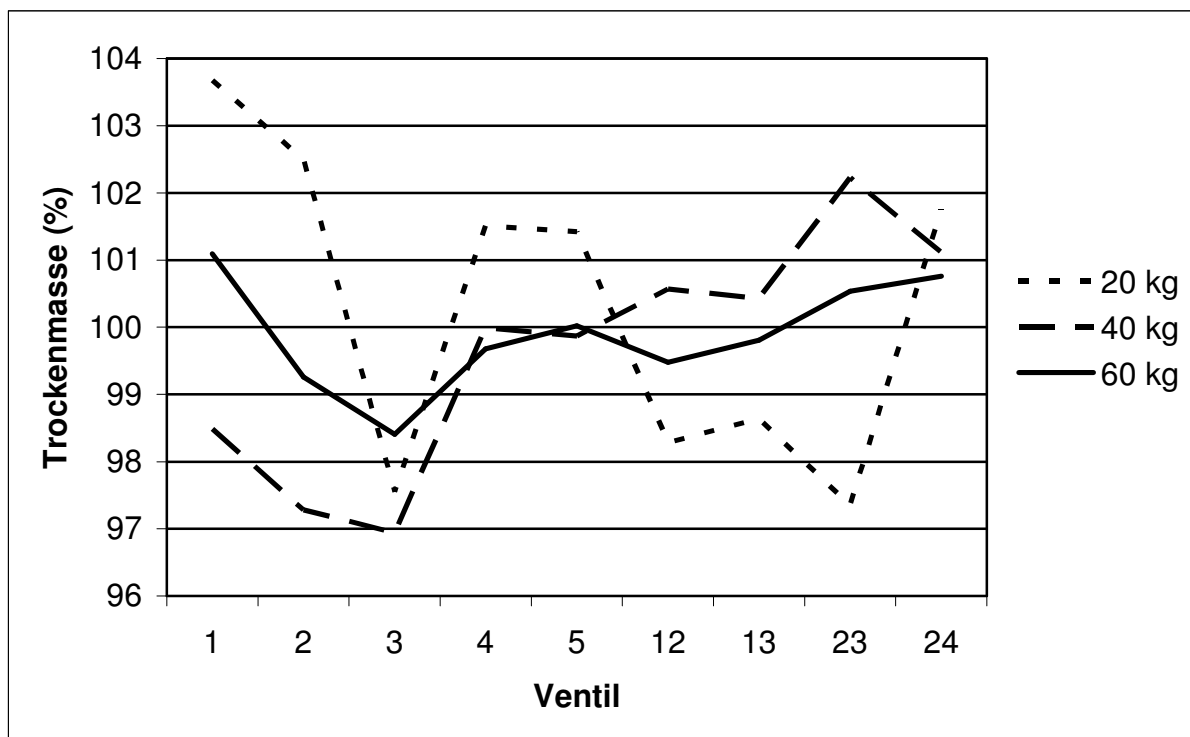


Abbildung 4.85: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt (relativ) der Anlage B bezogen auf den Sollwert

Eine weitere Erhöhung der qualitativen Dosiergenauigkeit für das Merkmal Trockenmasse brachten die Untersuchungen bei einer Sollmasse von 60 kg (siehe Tabelle 4.18). Die Verbesserungen waren jedoch sowohl für Anlage B als auch für Anlage A relativ gering. Die Anlage B dosierte über alle Ventile mit einem mittleren Dosierfehler von 0,9% bei einer Sollwertdifferenz von -0,03%. Bei der Anlage A lag der durchschnittliche Dosierfehler bei gleicher Sollwertabweichung sogar nur bei 0,8%.

Tabelle 4.18: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 60 kg (TM in %)

60 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW	SD	VK	DF	MW	SD	VK	DF
1	22,36	0,11	0,50	1,5	21,80	0,48	2,20	3,2
2	21,97	0,06	0,26	1,0	21,84	0,14	0,65	1,4
3	21,78	0,27	1,25	2,8	21,90	0,10	0,46	1,0
4	22,06	0,15	0,67	1,0	22,11	0,08	0,36	0,7
5	22,13	0,34	1,51	1,5	22,08	0,02	0,09	0,4
6	22,01	0,03	0,13	0,7	22,01	0,36	1,62	1,6
7	22,09	0,36	1,65	1,8	22,00	0,08	0,36	0,5
8	22,25	0,47	2,13	2,7	21,92	0,55	2,49	2,9
9	22,30	0,23	1,02	1,8	22,22	0,06	0,27	1,2
Gesamt	22,10	0,18	0,82	0,9	21,99	0,14	0,62	0,8
Sollwertdiff.	-0,03				-0,03			

Trotz leicht zunehmender Tendenz des Trockenmassegehaltes an der letzten Ventilgruppe traten bei keiner der beiden Anlagen statistisch gesicherte Abweichungen zwischen den Ventilen auf. Die einzelnen Ventile erzielten bei der B-Variante Dosierfehler von 0,7% (Ventil 6) bis 2,8% (Ventil 3). Die Variation ging bei der Anlage A von 0,4% am fünften bis zu 3,2% am ersten Ventil.

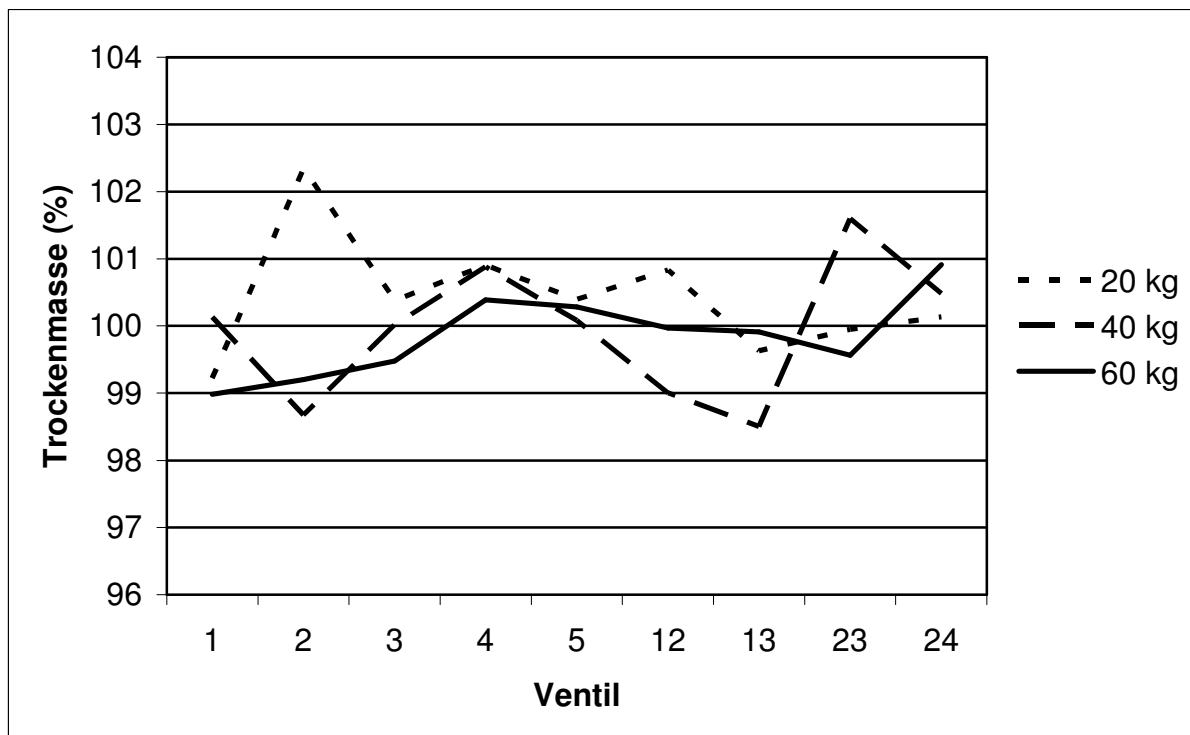


Abbildung 4.86: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt (relativ) der Anlage A bezogen auf den Sollwert

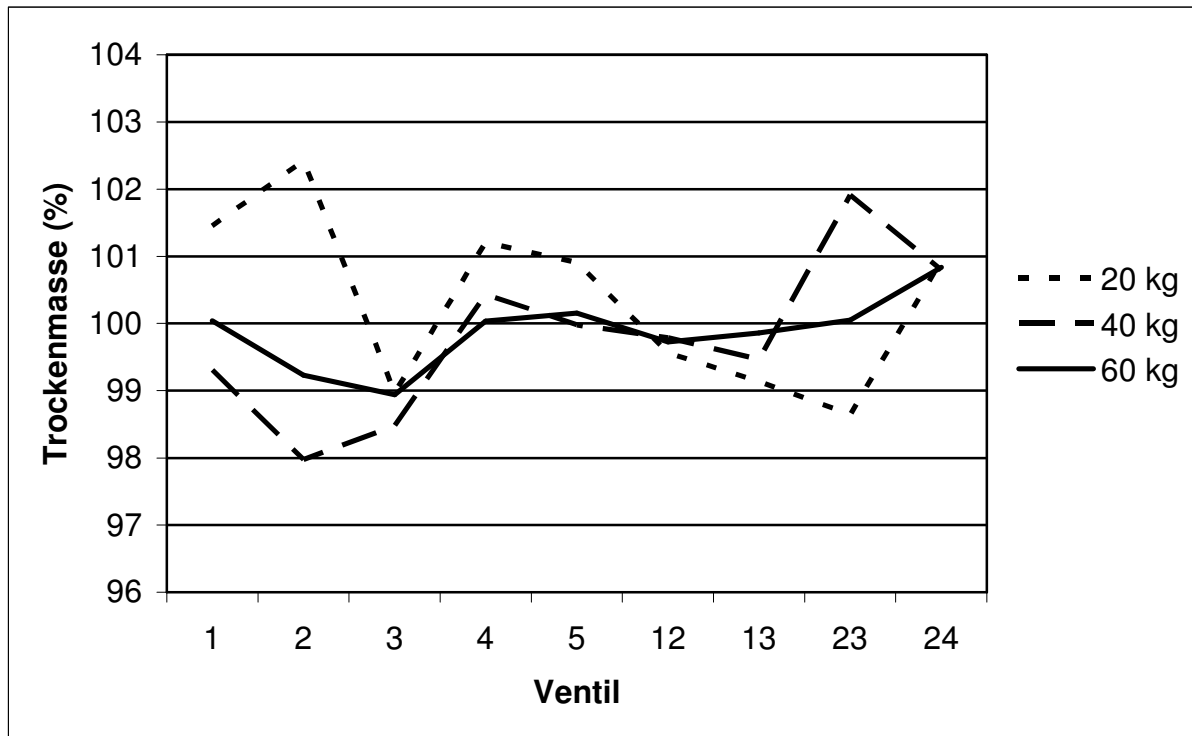


Abbildung 4.87: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt (relativ) beider Anlagen bezogen auf den Sollwert

Aus der dreifaktoriellen Varianzanalyse geht hervor, dass für das Merkmal Trockenmasse zwischen den einzelnen Ventilen statistisch hoch gesicherte Unterschiede bestehen, ebenso bestehen höchst signifikante bzw. signifikante Wechselwirkungen zwischen Sollmasse und Ventil sowie Anlage und Ventil (siehe Anhangtabelle 8.27). Die zweifaktorielle Varianzanalyse innerhalb der Anlage ergibt bei der Anlage B hoch signifikante Differenzen zwischen den Dosierventilen. Auch die Interaktion von Sollwert und Ventil ließ sich statistisch hoch absichern. Dagegen zeigen sich für die Anlage A keinerlei gerichtete Abweichungen. Diese Ergebnisse werden auch durch die Abbildungen 4.85 bis 4.87 veranschaulicht. Bei der Anlage B nimmt der Trockenmassegehalt unabhängig von der jeweiligen Sollmasse vom ersten zum letzten untersuchten Dosierventil näherungsweise den Verlauf einer Sinuskurve an. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Ventilen bei der Anlage A erscheinen eher zufälliger Natur. Innerhalb der Sollmassen weist die zweifaktorielle ANOVA für die 20 kg- und 40 kg-Dosierstufe einen hoch signifikanten Einfluss der Ventilposition aus. Auch die Wechselwirkung zwischen Anlage und Ventil ist bei 20 kg ebenfalls hoch gesichert (siehe Anhangtabelle 4.28). In der einfaktoriellen Varianzanalyse innerhalb von Anlage und Sollmasse bestätigen sich die gesicherten TM-Unterschiede an den Ventilpositionen der Anlage B bei den Dosierstufen 20 und 40 kg.

4.4.2.2 Rohasche

Der mittlere Rohaschegehalt lag bei der Anlage B für das ausdosierte Flüssigfutter über alle untersuchten Ventile und allen Dosierstufen bei 5,71%. Im Mittel wurde der Sollwert damit um 0,02% unterschritten. Der durchschnittliche Dosierfehler betrug 4,2% und lag somit nur knapp unter dem angesetzten Grenzwert von fünf Prozent. Für die Anlage A ergab sich bei allen Durchgängen über alle Ventile ein Mittelwert von 5,54% Rohasche in der Trockenmasse. Die Sollwertabweichung betrug dabei -0,1% bei einem mittleren Dosierfehler von 5,8%.

Tabelle 4.19: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (RA und RP in % der TM)

20 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP
1	5,68	2,6	20,87	1,5	5,83	5,6	19,82	8,6
2	5,74	5,9	21,07	1,6	5,77	3,1	19,92	4,4
3	5,77	3,7	21,07	1,4	5,76	3,2	19,08	6,4
4	6,12	8,0	20,95	2,0	5,75	2,9	20,43	2,0
5	5,87	3,7	21,07	0,5	5,63	0,8	20,24	0,5
6	5,93	4,3	20,84	2,0	5,57	0,8	19,73	3,6
7	5,79	2,4	21,14	1,1	5,54	2,8	20,03	2,7
8	5,94	5,0	21,61	7,5	5,54	1,8	19,97	2,0
9	5,84	3,0	21,51	4,5	5,57	0,8	20,17	5,9
Gesamt	5,85	3,9	21,13	1,5	5,66	3,1	19,93	3,5
Sollwertdiff.	+0,09		+0,06		+0,06		-0,31	

Bei einer Sollmasse von 20 kg dosierte die Anlage B die Rohaschefraktion im Flüssigfutter im Mittel mit einem Dosierfehler von 3,9% bei einer Sollwertdifferenz von +0,09% (siehe Tabelle 4.19). An den Ventilen 2 und 4 überschritt der Dosierfehler die 5-Prozent-Marke. Den niedrigsten bzw. den höchsten Dosierfehler wiesen Ventil Nr. 7 und Ventil Nr. 4 mit 2,4 und 8,0% auf. Signifikante Unterschiede traten zwischen den einzelnen Ventilen aufgrund eines hohen Restfehlers (siehe Anhangtabelle 8.29) nicht auf.

Die entsprechenden Ergebnisse für die Anlage A stellten sich im Vergleich zur Anlage B leicht verbessert dar. So lag der mittlere Dosierfehler über alle Ventile bei 3,1% (siehe Tabelle 4.19). Die Differenz zwischen Gesamtmittelwert und Sollwert lag mit +0,06% in einem ähnlichen Bereich wie bei der Anlage B. Besonders auffällig war bei dieser Konstellation Ventil 1 mit einem Dosierfehler von 5,6%. Im Gegensatz dazu erreichten die Ventile 5, 6 und 9 für den Dosierfehler Werte unter einem Prozent. An den einzelnen Ventilen traten höchst signifikante Unterschiede auf. Gerade die Ventile der ersten Ventilgruppe (Ventil 1 bis 5), speziell Ventil 1, zeigten einen erhöhten Rohaschegehalt im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen (Ventil 6 und 7 sowie Ventil 8 und 9).

Die Extremwertdifferenz betrug bei der Anlage B mit 0,44% Rohasche zwischen dem ersten und dem vierten Ventil gegenüber 0,29% zwischen Ventil 1 und Ventil 7 bei der Vergleichsanlage.

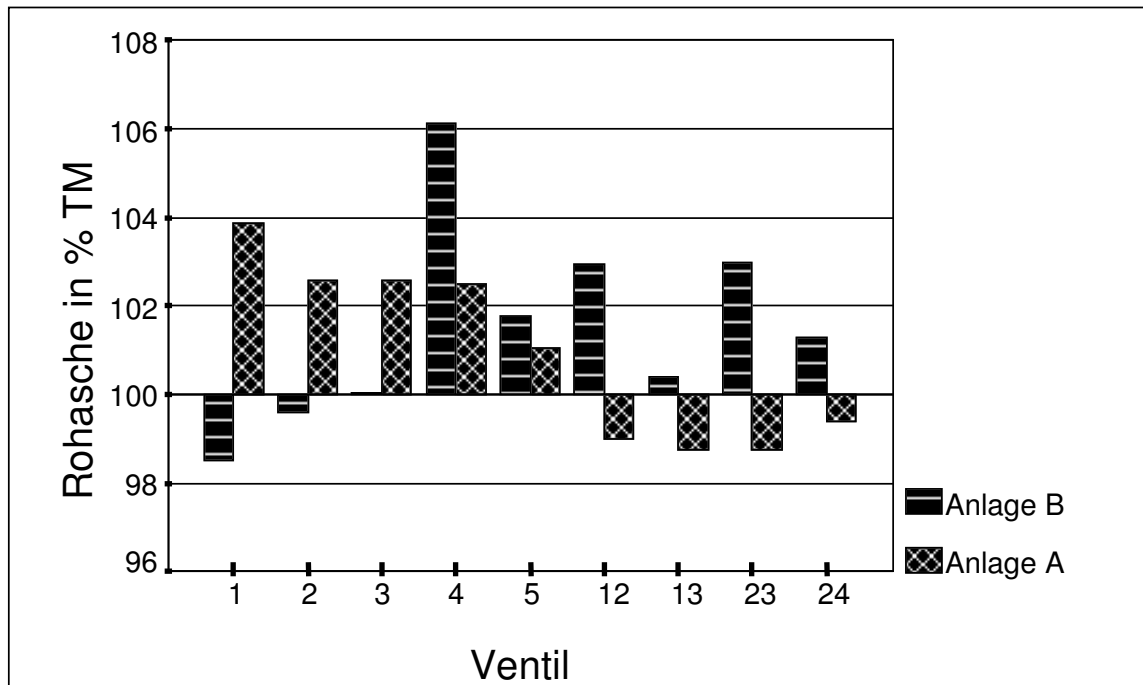


Abbildung 4.88: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ) beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

Deutliche Probleme mit der qualitativen Dosiergenauigkeit zeigten beide Flüssigfütterungsanlagen bei einer Sollmasse von 40 kg. Die Anlage B dosierte das Flüssigfutter über alle Ventile beim Rohaschegehalt immerhin noch mit einem Dosierfehler von 4,1% (siehe Tabelle 4.20). Der Sollwert wurde dabei um 0,06% überschritten. Mit einem Dosierfehler von 1,3% wies Ventil 2 den niedrigsten Dosierfehler auf, während Ventilposition 12 mit 15,3% den höchsten Wert für den Dosierfehler erzielte. Wie auch in Abbildung 4.89 zu erkennen, lag eine höchst signifikante Abweichung vor. An den einzelnen Ventile zeigten sich höchst signifikante Abweichungen. Die ersten beiden Ventilgruppen mit 3,7 bzw. 9,8% überschritten den Sollwert deutlich, die dritte Gruppe hingegen verfehlte den Sollwert lediglich um 0,8%.

Tabelle 4.20: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 40 kg (RA und RP in % der TM)

40 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP
1	5,67	2,5	21,25	5,4	5,51	2,0	22,06	7,9
2	5,75	1,3	21,31	4,2	5,56	3,4	22,83	3,9
3	5,68	3,1	20,84	4,4	5,54	1,2	21,80	3,9
4	5,79	2,4	20,78	3,8	5,62	2,0	21,85	2,6
5	5,65	3,5	20,85	2,8	5,85	5,8	22,25	2,3
6	5,96	15,3	20,67	3,8	5,28	8,0	21,57	4,9
7	5,46	6,2	20,50	5,2	5,56	1,6	21,88	2,0
8	5,47	4,8	20,57	7,3	5,02	10,8	22,78	4,1
9	5,46	5,0	20,60	4,3	5,21	7,1	21,41	3,7
Gesamt	5,66	4,1	20,82	4,2	5,46	6,8	22,04	2,5
Sollwertdiff.	-0,06		-0,60		-0,12		+0,04	

Im Gegensatz zu den 20 kg-Durchgängen zeigten sich auch bei 40 kg für die Anlage A eine ungenügende qualitative Dosiergenauigkeit (siehe Abbildung 4.90 und Tabelle 4.20). Bei einer Sollwertabweichung von -0,12% betrug der mittlere Dosierfehler über alle Ventile 6,8%. Der Dosierfehler variierte dabei zwischen 1,2% an Ventil 3 und 10,8% an Ventil 8. Auch bei dieser Anlage hatte die Ventilposition einen höchst signifikanten Einfluss auf die Dosiergenauigkeit. Der Rohaschegehalt nahm von der ersten bis zur dritten Ventilgruppe um 9% bezogen auf den Sollwert ab, zwischen den beiden extremen Ventilen betrug die relative Differenz 15,2%.

Die Spanne zwischen Minimum und Maximum ist im Gegensatz zu der 20 kg-Variante bei der Anlage B mit 0,50% Rohasche absolut zwischen dem sechsten und den letzten drei Ventilen deutlich niedriger als bei der Anlage A, für die zwischen Ventil 5 und Ventil 8 schon 0,83% Rohasche liegen.

Die Dosiergenauigkeit für das Merkmal Rohasche lieferte auch bei der Sollmasse von 60 kg (siehe Tabelle 4.21 und Abbildungen 4.89 bis 4.91) keine besseren Resultate. Die Anlage B dosierte über alle Ventile mit einem mittleren Dosierfehler von 4,7% noch im tolerierbaren Bereich. Die Sollwertabweichung war mit -0,08% gering. Für die Anlage A lag der durchschnittliche Dosierfehler bei ähnlicher Sollwertabweichung (-0,10) allerdings bei 7,8%.

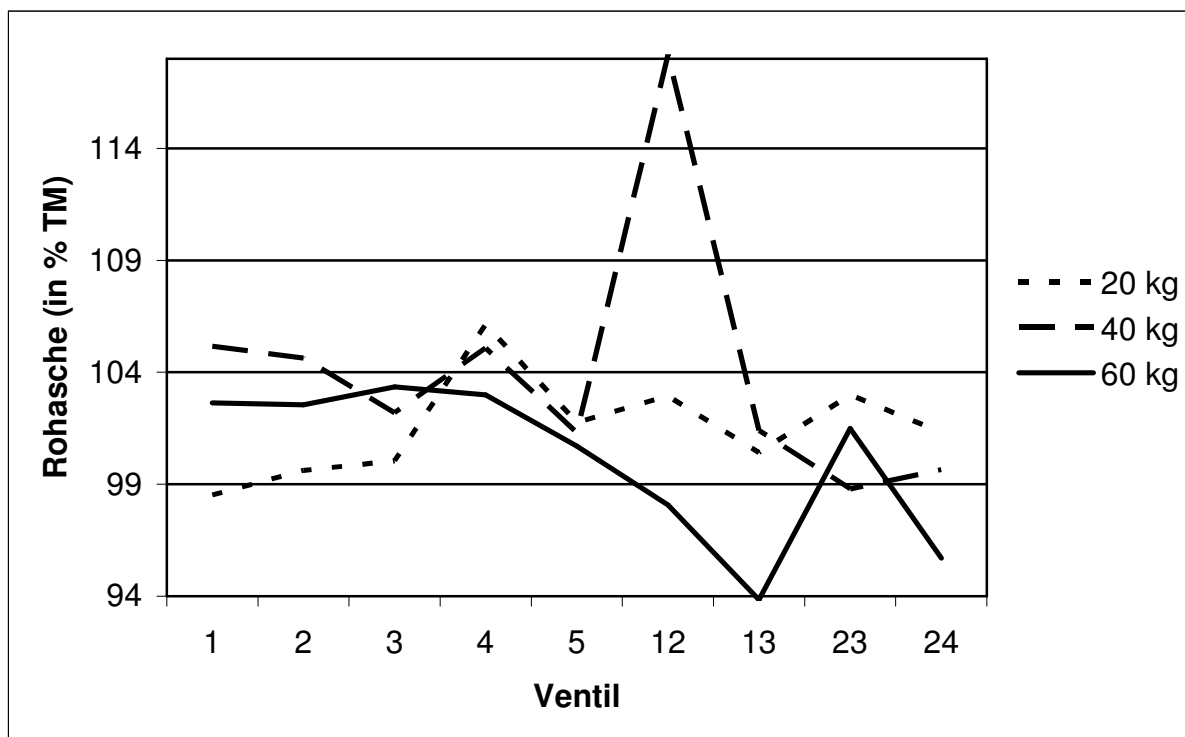


Abbildung 4.89: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ) der Anlage B bezogen auf den Sollwert

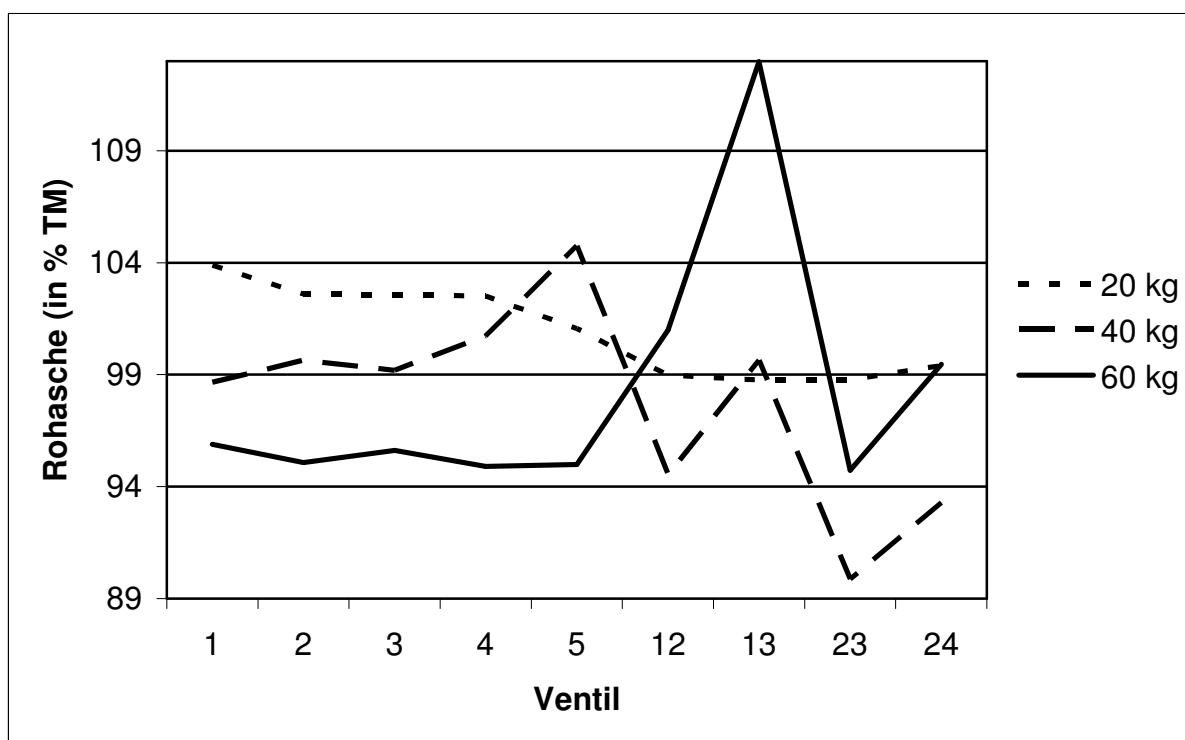


Abbildung 4.90: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ) der Anlage A bezogen auf den Sollwert

Sowohl bei der Anlage B als auch bei der Anlage A traten statistisch gesicherte Abweichungen zwischen den Ventilen auf. Die einzelnen Ventile erzielten bei der Anlage

B Dosierfehler von 2,0% (Ventil 5) bis 8,4% (Ventil 7). Die ersten fünf Ventile lagen bei der Anlage B mit durchschnittlich 5,76% Rohasche absolut über dem Sollwert, während besonders die zweite Gruppe (Ventil 6 und 7) mit 5,37% absolut deutlich unterdosierte. Die Variation der Einzelventile reichte bei der Anlage A von einem Dosierfehler an Ventil 6 mit 1,1% bis 17,8% am benachbarten Ventil 7. Bei einer relativen Unterdosierung über alle Ventile von 1,8% fiel besonders die zweite Ventilgruppe mit einer Überdosierung von 9% auf.

Tabelle 4.21: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 60 kg
(RA und RP in % der TM)

60 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP	MW RA	DF RA	MW RP	DF RP
1	5,77	3,3	22,12	2,6	5,36	6,2	20,40	4,3
2	5,77	2,9	22,16	1,9	5,32	5,1	20,23	7,4
3	5,74	2,6	22,12	1,9	5,35	6,1	21,22	3,3
4	5,79	3,5	21,92	1,7	5,31	5,5	20,07	4,9
5	5,67	2,0	21,63	2,3	5,31	5,3	20,87	1,6
6	5,45	7,6	21,83	1,9	5,65	1,1	19,92	4,1
7	5,29	8,4	21,81	1,4	6,32	17,8	19,95	4,2
8	5,66	3,6	21,56	2,7	5,30	6,5	20,84	2,7
9	5,40	6,2	21,73	1,7	5,56	2,6	20,12	3,3
Gesamt	5,61	4,7	21,88	1,2	5,49	7,8	20,40	4,1
Sollwertdiff.	-0,08		+0,05		-0,10		-0,37	

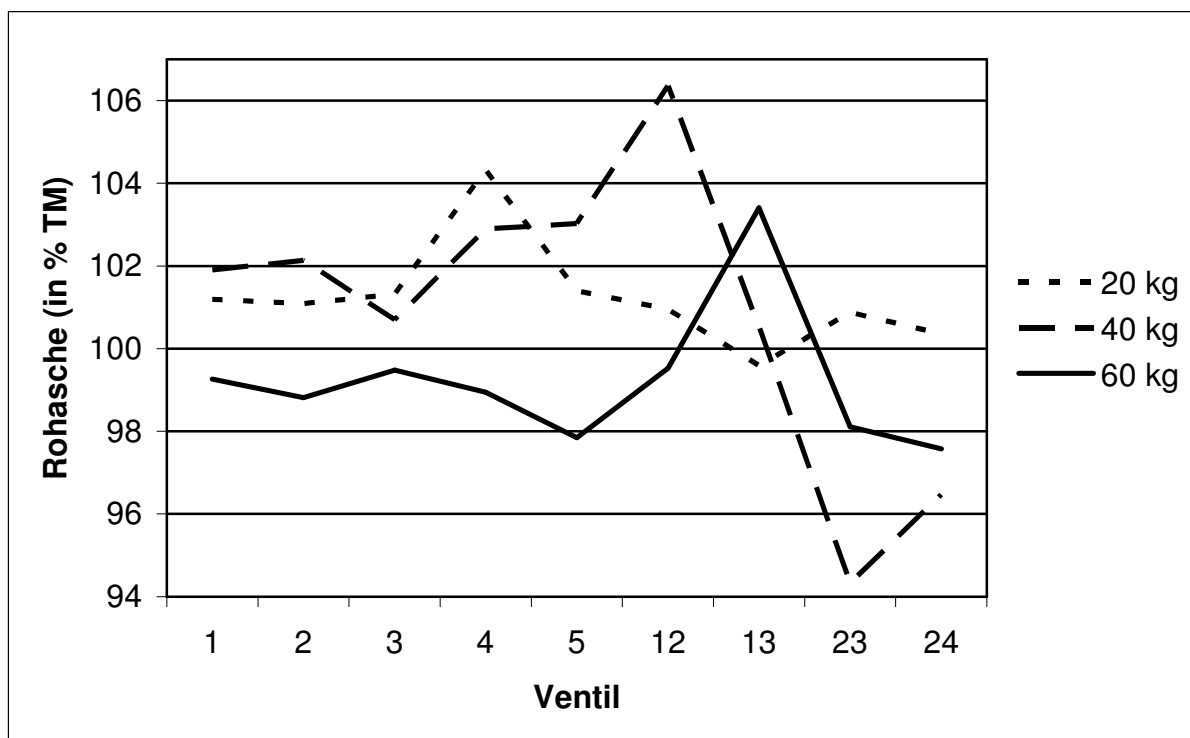


Abbildung 4.91: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ)
beider Anlagen mit unterschiedlichen Sollmassen

Die dreifaktoriellen Varianzanalyse (siehe Anhangtabelle 8.27) zeigt für das Merkmal Rohasche zwischen Anlage, Sollmasse und Ventil höchst signifikante Mittelwertunterschiede. Ebenso bestehen höchst gesicherte Interaktionen zwischen allen untersuchten Faktoren. Aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse ergeben sich für die Anlage B höchst signifikante Differenzen zwischen den Dosierventilen und den Sollmassen (siehe Anhangtabelle 8.28). Auch die Interaktion von Sollmasse und Ventil ließ sich mit $p < 0,001$ absichern. Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigt sich, dass die Ventilposition auf den Dosierstufen 40 und 60 kg höchst signifikant ist, im Gegensatz zu der 20 kg-Stufe, die keine gesicherten Unterschiede zeigt. Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Anlage A zeigt zwischen allen Dosierstufen und der Gesamtheit der Ventile höchst signifikante Differenzen. Im Unterschied zur Anlage B bestehen bei der Anlage A gesicherte Differenzen auf allen Dosierstufen. Diese Ergebnisse werden auch durch die Abbildungen 4.88 bis 4.91 bestätigt.

4.4.2.3 Rohprotein

Im Durchschnitt aller Ventile lag der Rohproteingehalt bei der Anlage B für das ausdosierte Flüssigfutter unabhängig von der Dosierstufe bei 21,28%. Damit wurde der Sollwert um 0,05% überschritten. Der Dosierfehler betrug im Mittel 2,3%. Etwas ungünstigere Ergebnisse lieferte die Anlage A. Der Mittelwert aus allen sechs Durchgängen an allen Ventilen bezifferte sich auf 20,79% Rohprotein in der Trockenmasse bei einer Sollwertdifferenz von -0,21% und einem durchschnittlichen Dosierfehler von 3,3%.

Für die Sollmasse von 20 kg erreichte die Anlage B beim Rohprotein einen mittleren Dosierfehler von 1,5% (siehe Tabelle 4.19) bei einer Sollwertabweichung von +0,06%. Ausgehend von Ventil 5 mit einem Dosierfehler von 0,5% lagen sieben der neun Ventile unter einem Dosierfehler von 2%. Nur Ventil 8 kam mit einem Dosierfehler von 7,5% deutlich über die Fünf-Prozent-Marke, während Ventil 9 diesen Grenzwert gerade noch unterschritt. Auch wenn sich zwischen den einzelnen Ventilen keine statistisch gesicherten Unterschiede nachweisen lassen, gab es doch eine Abweichung der dritten Ventilgruppe mit 102,9% gegenüber den anderen beiden Gruppen mit 99,9 bzw. 99,6%.

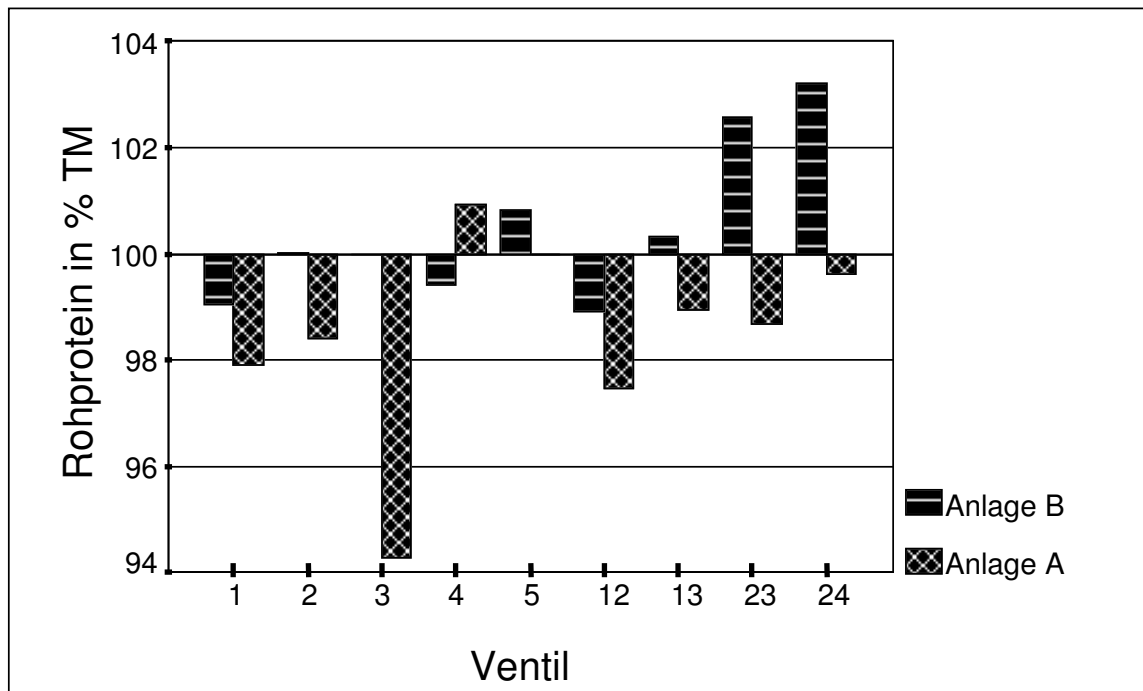


Abbildung 4.92: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohprotein (relativ) beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

Größere Differenzen ergaben sich für die Anlage A bei der qualitativen Dosiergenauigkeit bei den 20 kg-Ausdosierungen für das Merkmal Rohprotein. Der mittlere Dosierfehler beläuft sich über alle Ventile auf 3,5% (siehe Tabelle 4.19). Die Sollwertdifferenz lag mit -0,31 noch innerhalb des Analysenspielraumes. Ungenügende Ergebnisse lieferten die Ventile 1, 3 und 9, wobei besonders das erste Ventil mit einem Dosierfehler von 8,6% negativ auffiel. Signifikante Unterschiede traten zwischen den einzelnen Ventilen nicht auf. Maximum und Minimum im Rohproteingehalt unter allen Ventilen lagen bei der Anlage B 0,77% auseinander, wohingegen bei der Anlage A zwischen dem dritten und dem vierten Ventil ein Unterschied von 1,35% bestand.

Unterschiedlich gestalteten sich auch die Ergebnisse für die qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 40 kg. Die Anlage B dosierte das Flüssigfutter über alle Ventile beim Rohproteingehalt mit einem Dosierfehler von 4,2% (siehe Tabelle 4.20). Der Sollwert wurde dabei um 0,60% unterschritten. Mit einem Dosierfehler von 2,8% wies Ventil 5 den niedrigsten Dosierfehler auf, währenddessen Ventil 8 mit 7,3% den höchsten Wert für den Dosierfehler aufwies.

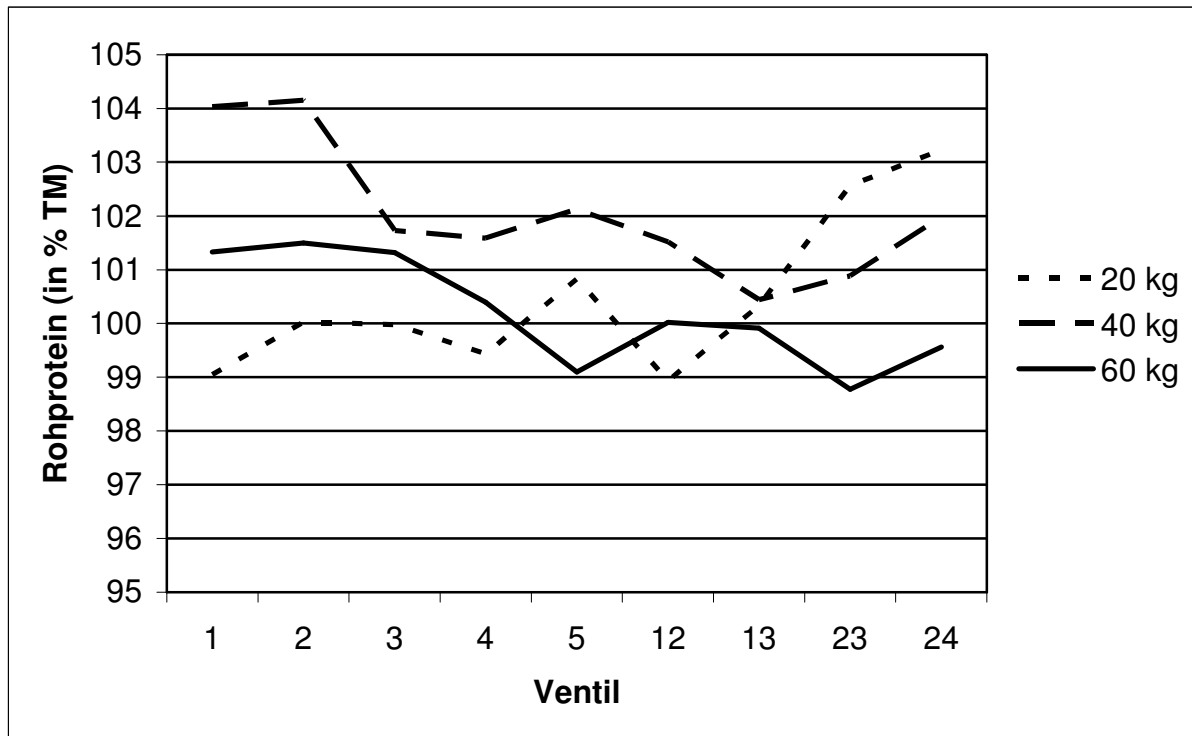


Abbildung 4.93: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohproteingehalt (relativ) der Anlage B bezogen auf den Sollwert

Bei der Dosierung von 40 kg durch die Anlage A war die qualitative Dosiergenauigkeit an einigen Ventilen höhere Dosierfehler zu beobachten (siehe Tabelle 4.20 und Abbildung 4.94). Bei einer Sollwertabweichung von +0,04% betrug der mittlere Dosierfehler über alle Ventile 2,4%. Der Dosierfehler variierte dabei zwischen 2,0% an Ventil 7 und 7,9% an Ventil 1. Zwischen den einzelnen Ventilen bestanden keine statistisch gesicherten Unterschiede.

Die Differenz der Extremwerte war für beide Flüssigfütterungsanlagen gering. Für Anlage B ergab sich ein Wert von 0,81% Rohprotein absolut zwischen Ventil 2 und Ventil 7, für Anlage A betrug die Spanne der Rohproteinwerte erstaunlich hohe 1,42% Rohprotein in der Trockenmasse.

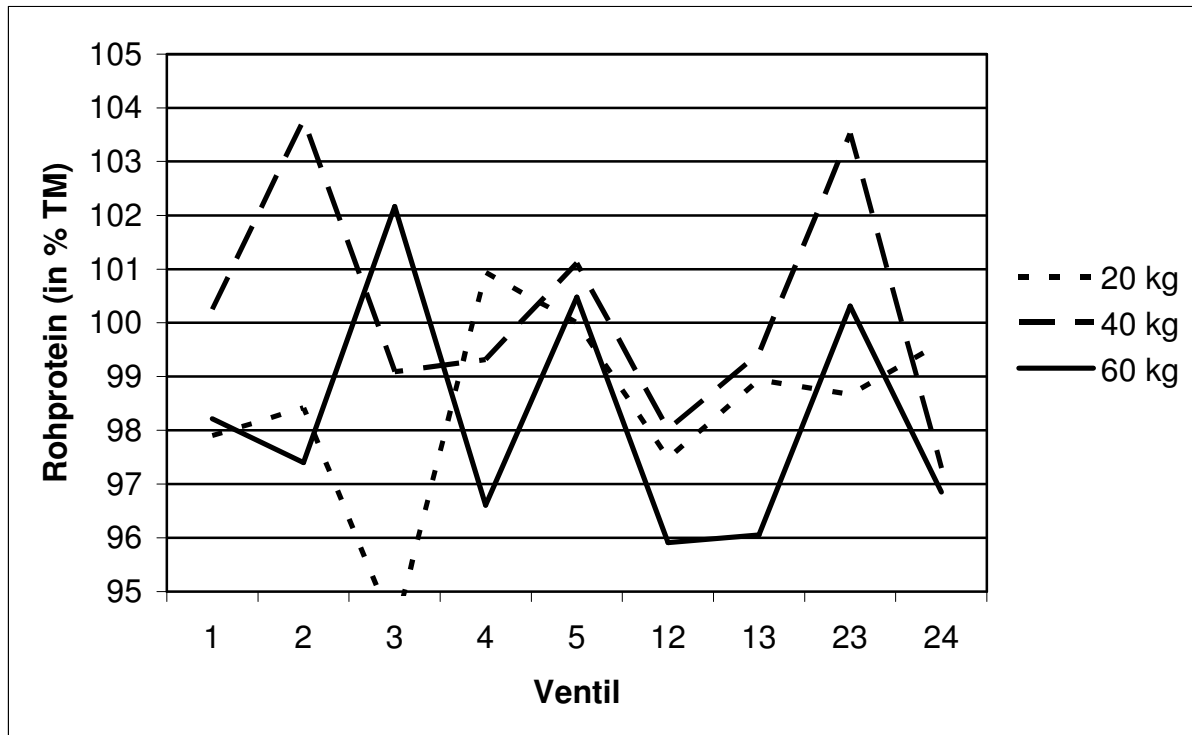


Abbildung 4.94: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohproteingehalt (relativ) der Anlage A bezogen auf den Sollwert

Bei einer Sollmasse von 60 kg erreichte die Anlage B gute Ergebnisse für die qualitative Dosiergenauigkeit des Rohproteins (siehe Tabelle 4.21 und Abbildungen 4.93 bis 4.95). Sie dosierte über alle Ventile mit einem mittleren Dosierfehler von 1,2% bei einer geringen Sollwertdifferenz von +0,05%. Die einzelnen Ventile bewegten sich in einem Bereich von 21,56% (Ventil 8) bis 22,16% Rohprotein (Ventil 2). Der Dosierfehler war mit 1,4% an Ventil 7 am geringsten und mit 2,7% am höchsten. Für die Anlage A lag der Dosierfehler im Durchschnitt mit 4,1% noch im tolerierbaren Bereich, wobei auch die Sollwertabweichung von -0,37% nicht übersehen werden darf. Auch die Einzelergebnisse für die Ventilpositionen streuten mit 0,95% zwischen dem fünften und sechsten Ventil stärker als bei der Anlage B. Der Dosierfehler an den einzelnen Ventilpositionen variierte dabei von 1,6% an Ventil 5 und 7,4% an Ventil 2.

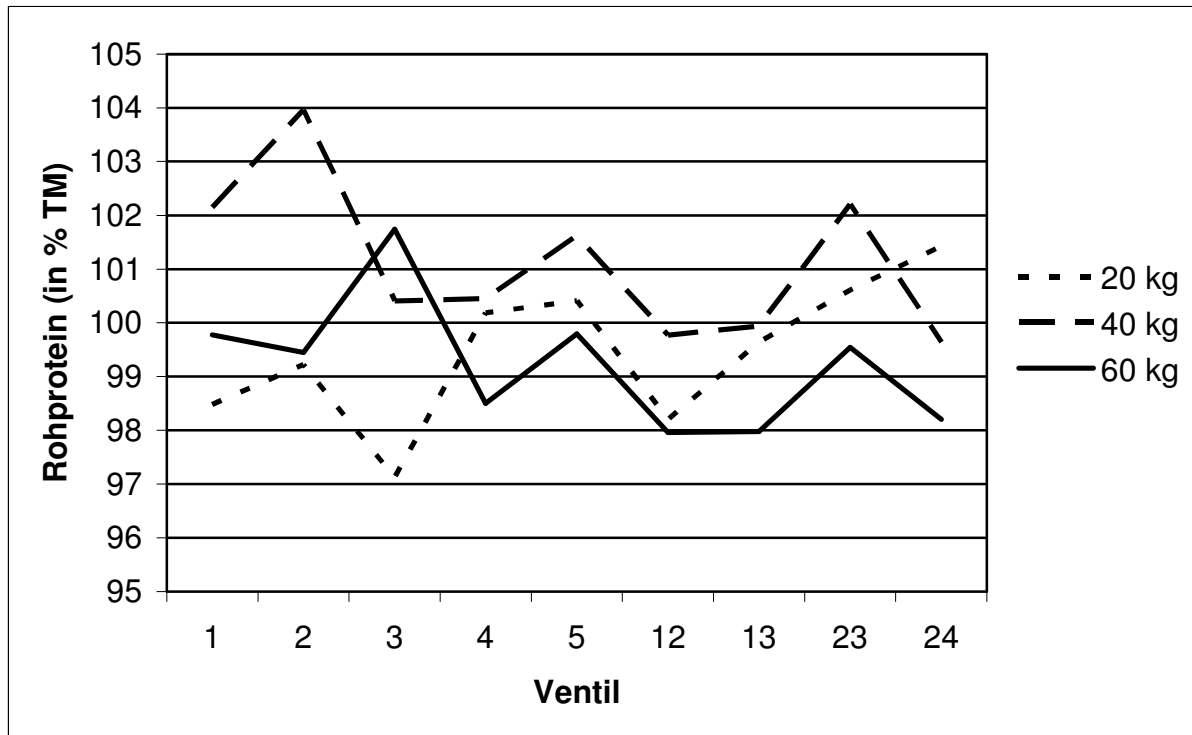


Abbildung 4.95: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohproteingehalt (relativ) beider Anlagen mit unterschiedlichen Sollmassen

Statistisch gesicherte Abweichungen traten bei Anlage B für die Ventilposition auf. Dabei fiel der Rohproteingehalt vom ersten bis zum neunten Ventil und damit auch von der ersten zur dritten Ventilgruppe leicht ab. Bei Anlage A zeigten sich weder zwischen den Ventilen noch zwischen den Ventilgruppen offensichtliche Unterschiede.

Aus der dreifaktoriellen Varianzanalyse geht hervor, dass für den Rohproteingehalt sowohl zwischen den beiden Anlagen als auch den drei Sollmassen höchst und hoch signifikante Mittelwertunterschiede bestanden, Wechselwirkungen traten keine auf. Bei der zweifaktoriellen Varianzanalyse ergaben sich für die Anlage B statistisch gesicherte Abweichungen zwischen den Dosierstufen. Für die Anlage A ergab sich weder aus der zweifaktoriellen noch aus der einfaktoriellen Varianzanalyse eine signifikante Abweichung eines Faktors. Diese unterschiedlichen Ergebnisse beider Anlagen werden auch durch die Abbildungen 4.93 bis 4.95 bestätigt. Die Untersuchungen an der Anlage B zeigten tendenzielle Ab- und Zunahmen des Rohproteingehaltes im Verlauf der Dosierstrecke, wohingegen die Werte bei Anlage A von Ventil zu Ventil schwankten.

4.4.2.4 Mengenelemente (Ca, P)

Der Calciumgehalt bei Untersuchungen der qualitativen Dosiergenauigkeit für die Flüssigfütterungsanlage B lag im Mittel bei 8,6 g/kg TM, immerhin 0,51g/kg TM über der Sollwertvorgabe. Im Schnitt lag der Dosierfehler bei 11,5% und damit weit oberhalb des Referenzwertes. Etwas günstigere Ergebnisse lieferte die Anlage A. Bei einem Durchschnittswert aller Ventile von 9,67 g/kg Calcium in der Trockenmasse ergab sich für die gesamte Anlage ein Dosierfehler von 7,7%. Auch die Sollwertabweichung war mit +0,27 g/kg TM deutlich geringer als bei der Anlage B (siehe auch Tab. 4.22 und Abbildung 4.96).

Die einzelnen Dosierventile streuten bei der Anlage B beim Dosierfehler von 2,3% an Ventil 1 bis 19,2% an Ventil 4. Neben dem ersten Ventil blieb nur noch das zweite Ventil unter einem Dosierfehler von 5%. Obwohl sich zwischen den einzelnen Ventilen hoch signifikante Unterschiede nachweisen ließen, zeigten die Ventilgruppen (1 bis 5, 6 und 7, 8 und 9) keine statistisch gesicherten Abweichungen.

Bei der Anlage A blieben drei Einzelventile unter der Fünf-Prozent-Marke für den Dosierfehler. Das beste Ergebnis erzielte Ventil 6 mit einem Dosierfehler von 0,6%, am ungünstigsten schnitt dagegen das erste Ventil mit einem Dosierfehler von 9,8% ab. Zwischen den einzelnen Ventilen konnten höchst signifikante Mittelwertunterschiede nachgewiesen werden. Dabei nahm der Calciumgehalt von einem relativen Wert von 106,9% in der ersten bis auf 96,8% an der dritten Ventilgruppe ab (Abbildung 4.96).

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab für Anlage und Ventilposition höchst signifikante Mittelwertabweichungen. Es besteht eine mit $p < 0,001$ abgesicherte Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren, was darauf hindeutet, dass die relativen Calciumkonzentrationen an einzelnen Ventilen für die jeweilige Anlage differierten.

Tabelle 4. 22: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (Ca und P in g/kg TM)

20 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW Ca	DF Ca	MW P	DF P	MW Ca	DF Ca	MW P	DF P
1	7,92	2,3	7,27	0,7	10,14	9,8	6,95	3,2
2	8,21	4,2	7,01	5,7	9,97	8,8	7,06	1,2
3	8,53	8,6	7,29	1,9	10,14	9,1	6,99	2,8
4	9,37	19,2	7,10	3,2	10,11	7,7	7,10	0,8
5	8,49	7,8	7,15	1,6	9,90	5,5	7,07	1,3
6	9,15	14,3	7,17	1,9	9,41	0,6	7,07	0,7
7	8,66	10,3	7,07	6,3	9,14	7,4	7,10	1,2
8	8,64	8,3	7,28	1,1	9,19	3,6	6,95	1,9
9	8,48	5,3	7,28	1,2	9,01	4,9	6,93	3,3
Gesamt	8,60	11,5	7,18	2,6	9,67	7,7	7,02	1,5
Sollwertdiff.	+0,51		-0,04		+0,27		-0,04	

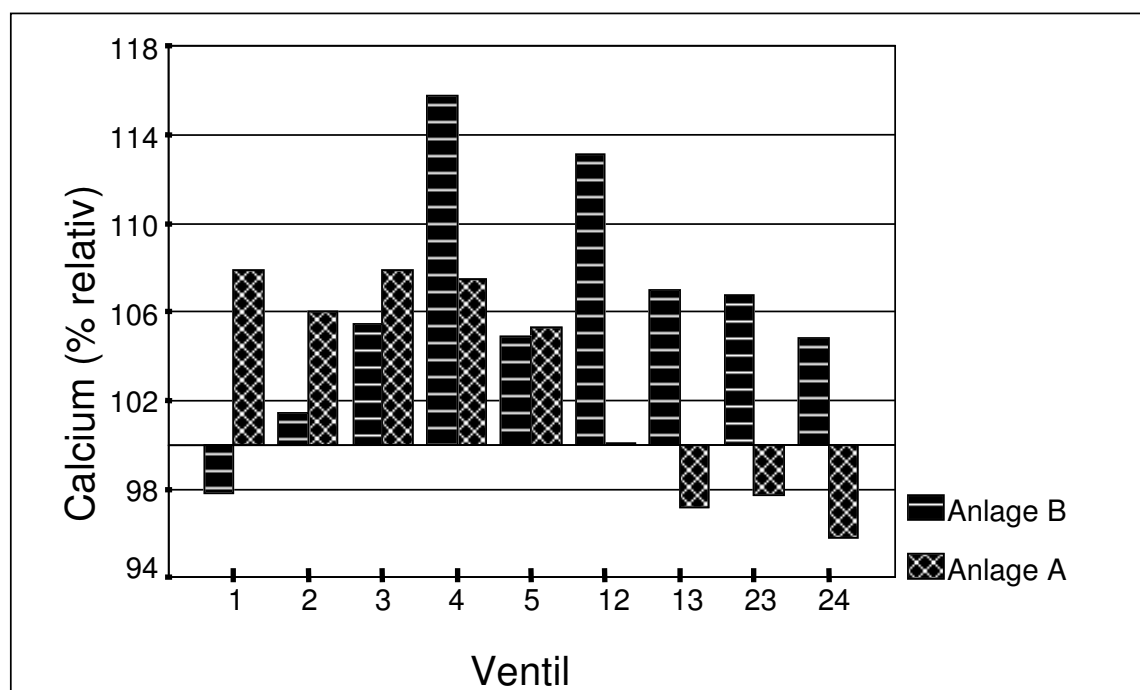


Abbildung 4.96: Qualitative Dosiergenauigkeit im Calciumgehalt (relativ) beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

Im Durchschnitt aller Ventile lag der Phosphorgehalt bei der Anlage B mit 7,18 nur um 0,04 g/kg TM unter dem Sollwert. Beim Dosierfehler ergab sich ein Mittel von 2,1%. Allerdings fielen Ventil 2 und Ventil 7 mit einem Dosierfehler von 5,7 bzw. 6,3 aus dem Rahmen. Weder zwischen den einzelnen Dosierventilen noch den Ventilgruppen traten statistisch nachweisbare Unterschiede auf.

Kaum günstigere Werte lieferte die Anlage A für den Dosierfehler. Bei einem Mittelwert über alle Ventile von 7,02 g/kg Phosphor in der Trockenmasse bezifferte sich der

Dosierfehler auf 1,5%. Die Sollwertabweichung betrug ebenfalls -0,04% (siehe Tabelle 4.22 und Abbildung 4.97). Die einzelnen Dosierventile blieben beim Dosierfehler ausnahmslos unter der Fünf-Prozent-Marke. Dabei variierte der Dosierfehler von 0,7 bis 3,3%. Unter den Dosierventilen waren keine signifikanten Unterschiede vorhanden.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigt keinen Hinweis auf statistisch gesicherte Mittelwertdifferenzen innerhalb der Faktoren Ventil und Anlage. Zwischen beiden Faktoren bestand eine gesicherte Wechselwirkung ($p < 0,05$).

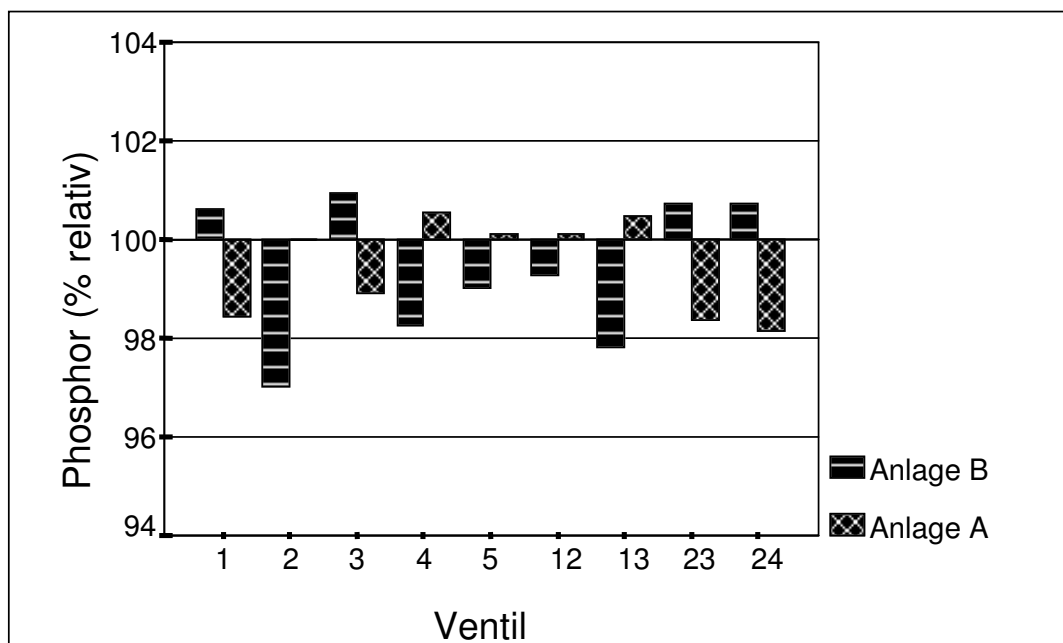


Abbildung 4.97: Qualitative Dosiergenauigkeit im Phosphorgehalt (relativ) beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

4.4.2.5 Spurenelemente (Zn, Cu)

Der Zinkgehalt bei den Untersuchungen zur qualitativen Dosiergenauigkeit erreichte in der Anlage B einen Mittelwert von 193 mg/kg TM bei einer Sollwertdifferenz von 2 mg/kg. Der durchschnittliche Dosierfehler betrug 2,1%. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei der Anlage A. Bei einem Schnitt über alle Ventile von 189 mg/kg Zink in der Trockenmasse ergab sich ein mittlerer Dosierfehler von 1,9%. Die Sollwertabweichung war mit -2 mg/kg ebenso niedrig wie bei der Anlage B (siehe Tabelle 4.23 und Abbildung 4.98).

An den einzelnen Ventilpositionen der Anlage B variierte der Dosierfehler von 1,4% an Ventil 6 bis 8,7% an Ventil 7, dies war gleichzeitig auch das einzige Ventil mit ei-

nem Dosierfehler von mehr als fünf Prozent. Innerhalb der in die statistische Auswertung eingegangenen Faktoren Ventil und Anlage ließen sich keine gesicherten Abweichungen nachweisen.

Auch bei der Anlage A bewegten sich alle Ventile beim Dosierfehler für den Zinkgehalt unter der Fünf-Prozent-Marke. Den geringsten Dosierfehler erzielte Ventil 3 mit 0,8%, währenddessen das erste Ventil mit 4,6% den negativen Gegenpol darstellte. Bei der zweifaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich weder für Anlage noch für Ventilposition statistisch nachweisbare Mittelwertabweichungen.

Tabelle 4.23: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (Zn und Cu in mg/kg TM)

20 kg	Anlage B				Anlage A			
Ventil-Nr.	MW Zn	DF Zn	MW Cu	DF Cu	MW Zn	DF Zn	MW Cu	DF Cu
1	197	4,4	35,9	1,5	188	4,6	34,3	2,3
2	190	1,5	33,5	11,7	191	1,4	34,6	1,2
3	198	3,9	35,9	2,5	190	0,8	34,3	3,0
4	192	4,1	33,6	6,8	192	3,3	33,7	3,3
5	189	3,1	34,5	4,0	188	4,5	34,2	1,8
6	192	1,4	34,6	3,1	192	1,6	33,8	3,0
7	190	8,7	35,9	6,9	191	4,3	36,2	5,8
8	194	2,6	36,6	3,2	186	3,1	34,9	1,4
9	194	2,1	36,2	2,0	185	3,0	34,7	1,7
Gesamt	193	2,1	35,2	4,2	189	1,9	34,5	2,6
Sollwertdiff.	-2		-0,3		-2		-0,2	

Der Kupfergehalt bei Untersuchungen der qualitativen Dosiergenauigkeit der Anlage B lag im Mittel bei 35,2 mg/kg TM und damit 0,3 mg/kg unter der Sollwertvorgabe. Der durchschnittliche Dosierfehler aller Ventile betrug 4,2%. Etwas niedrigere Werte für den Dosierfehler lieferte die Anlage A. Bei einem Mittelwert aller Ventile von 34,5 mg/kg Kupfer in der Trockenmasse ergab sich für die gesamte Anlage ein Dosierfehler von 2,6%. Die Sollwertdifferenz war mit -0,2% ähnlich gering wie bei der B-Variante (siehe Tabelle 4.23 und Abbildung 4.99).

An den einzelnen Ventilpositionen zeigten sich bei der Anlage B Dosierfehler von 1,5% am ersten Ventil bis hin zu 11,3% am zweiten Ventil. Neben Ventil 2 blieben auch noch Ventil 4 und 7 über der Fünf-Prozent-Grenze. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Ventilen waren nicht gesichert.

Bei der Anlage A überschritt nur das Dosierventil 7 mit 5,8% die Fünf-Prozent-Marke für den Dosierfehler. Das beste Ergebnis erzielte das zweite Ventil mit einem Dosierfehler von 1,2%. Aufgrund eines wesentlich geringeren Restfehlers konnten zwischen

den einzelnen Ventilen signifikante Mittelwertunterschiede ($p < 0,01$) nachgewiesen werden (siehe Anhangtabelle 8.29).

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab für die Ventilposition hoch signifikante Mittelwertabweichungen. Es traten keine Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren auf.

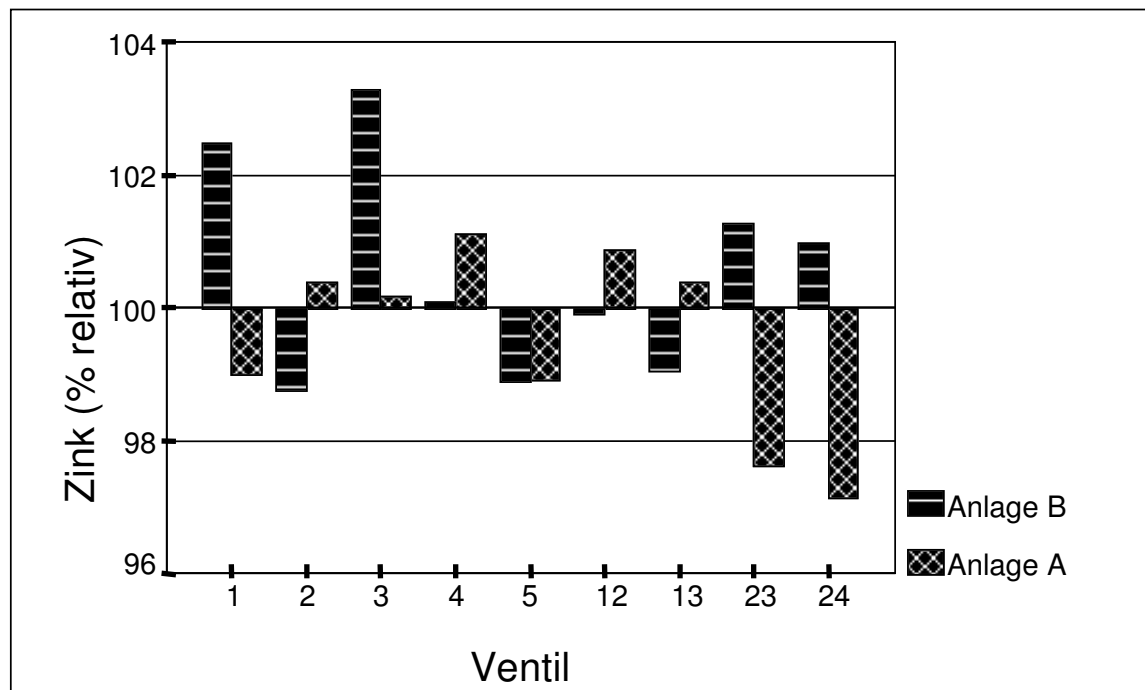


Abbildung 4.98: Qualitative Dosiergenauigkeit im Zinkgehalt (relativ) beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

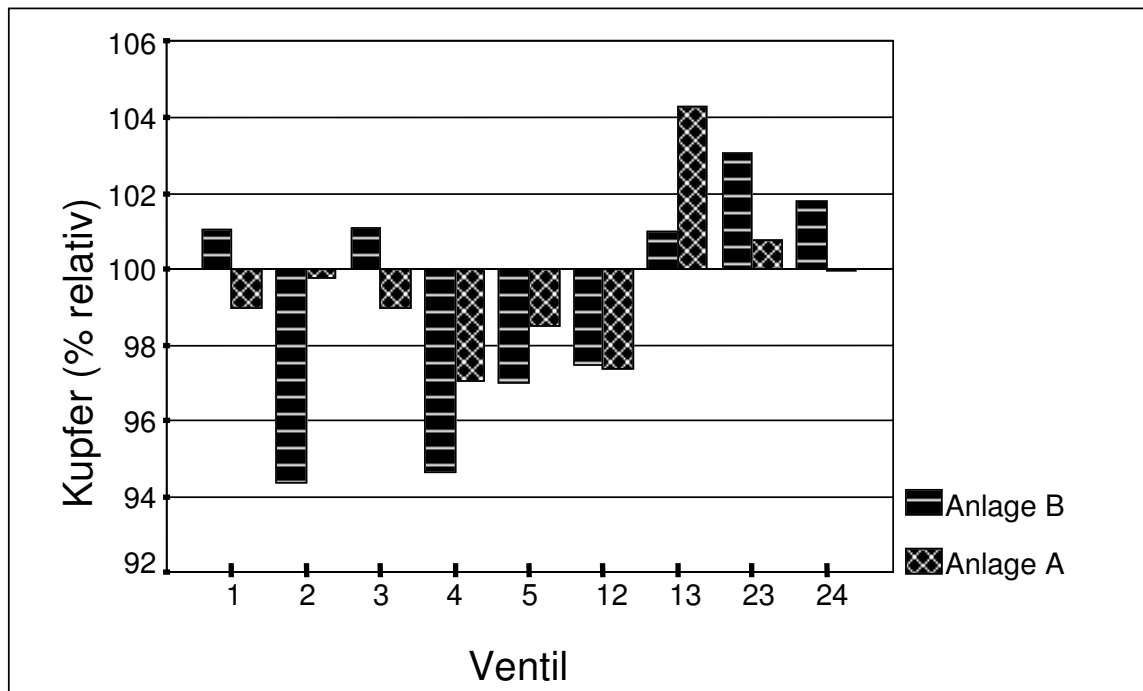


Abbildung 4.99: Qualitative Dosiergenauigkeit im Kupfergehalt (relativ) beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

4.5 Probenaufbereitung

Die Probenaufbereitung der voluminösen Flüssigfutterproben ist bei der Trockenmassebestimmung mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Als Vorversuch zur Bestimmung der Aufbereitungsmethode standen vier Verfahren zur Auswahl. Ziel des Vorversuches war es, ein Verfahren zu finden, das einen möglichst geringen zufälligen und systematischen Fehler, d.h. eine sehr geringe Standardabweichung, aufweist. Die untersuchten Verfahren lassen sich wie folgt beschreiben:

- Verfahren 1: Trocknungstemperatur 105 °C, kein Überspülen der Flüssigfutterproben in die Trocknungsbehältnisse, d. h. die Proben werden direkt in der Trocknungsschale angemischt.
- Verfahren 2: Trocknungstemperatur 105 °C, Überspülen der Flüssigfutterproben aus den Probenahmegegeräten in die Trocknungsbehältnisse mit Aqua dest.
- Verfahren 3: Trocknungstemperatur 50 °C, kein Überspülen der Flüssigfutterproben in die Trocknungsbehältnisse.
- Verfahren 4: Trocknungstemperatur 50 °C, Überspülen der Flüssigfutterproben in die Trocknungsbehältnisse mit Aqua dest.

In Abbildung 4.100 sind die einzelnen Messergebnisse der vier Verfahren aufgeführt. Bei Betrachtung der Messreihen fällt auf, dass die Aufbereitung mit Überspülen (Verfahren 2 und 4) einen geringeren zufälligen Fehler aufweist als die Aufbereitung ohne Überspülen.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte einen höchst signifikanten Einfluss der Trocknungstemperatur sowie einen hoch signifikanten Einfluss des Überspülens der flüssigen Proben. Nach dem Multiple-Range-Test unterscheiden sich Verfahren 1 und 2 hoch signifikant ($P < 0,01$) von Verfahren 3 und 4. Ferner besteht ein deutlicher Unterschied ($P = 0,05$) zwischen der dritten und vierten Verfahrensvariante.

Insgesamt bestätigen die Versuchsergebnisse zur Probenaufbereitung, dass das Überspülen von Flüssigfutterproben in Trocknungsschalen weder Präzision noch Richtigkeit beeinträchtigte. Nur Verfahren 4, das im Abschnitt 3.5 näher beschrieben ist, kam in den Versuchsserien zur Prüfung der qualitativen Dosiergenauigkeit von Flüssigfutter zur Anwendung.

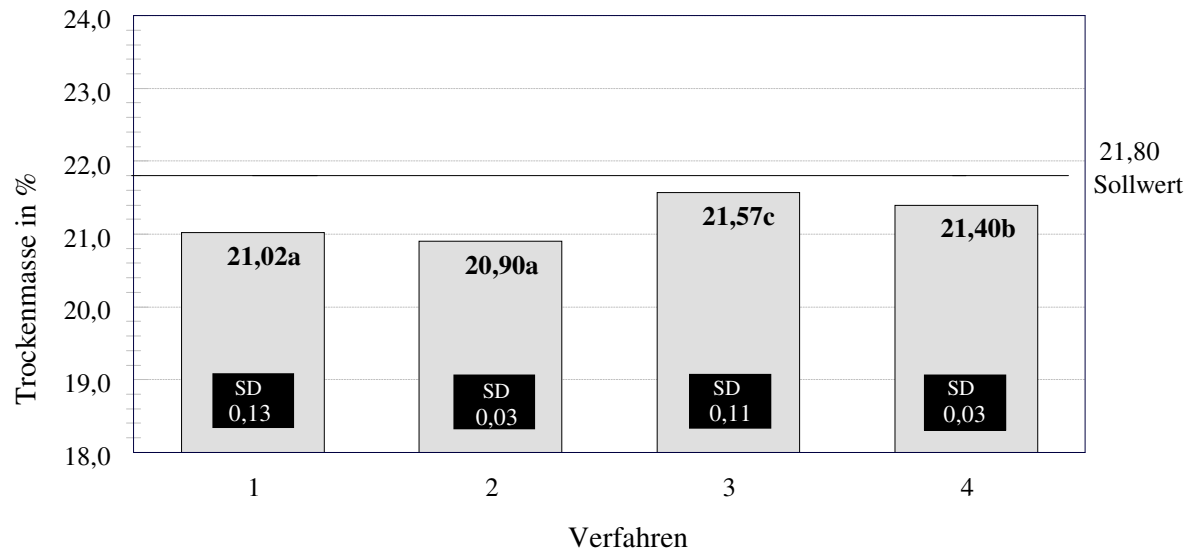


Abbildung 4.100: Verfahren der Probenaufbereitung im Vergleich.
Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich deutlich
($P < 0,05$; Multiple-Range-Test)

4.6 Laboranalytische Prüfung der Mineralfutterkomponente

Der Anteil der Mineralfutterkomponente beträgt nur drei Prozent in einer üblichen Ration für Mastschweine, aber für die Mineral- und Wirkstoffversorgung nimmt das Mineralfutter eine zentrale Stellung unter den Futtermitteln ein. Das Mineralfutter erweist sich durch sein im Vergleich zu anderen Futtermitteln hohes spezifisches Gewicht zudem als guter Indikator für die Homogenität der Futtermittelmischung.

4.6.1 Löslichkeitsverhalten

Ausgehend von der Tatsache, dass sich gelöste Bestandteile homogen auf die wässrige Phase im Futterbrei verteilen, nimmt das Löslichkeitsverhalten des Mineralfutters eine elementare Stellung für die Dosierqualität von Flüssigfütterungsanlagen ein.

4.6.1.1 Verfahren a

Das erste Verfahren zur Prüfung der Mineralfutterlöslichkeit simulierte den Einfluss des Rührwerks im Anmischbehälter mittels eines Magnetrührers. Im Abschnitt 3.4.1 werden Verfahren a ebenso wie Verfahren b näher beschrieben. Die Proben wurden nach sieben bzw. 35 Minuten gezogen, um den Einfluss des Rührvorgangs auf die Löslichkeit zu quantifizieren. Die Variante mit dem siebenminütigen Rühren wurde viermal wiederholt, das längere Rühren zweimal. Zwischen beiden Zeitvarianten ergaben sich jedoch nur in Einzelfällen signifikante Unterschiede in der Mineralfutterlöslichkeit (siehe Tabelle 4.24). Deutliche Differenzen zeigten sich aber zwischen den einzelnen Mineralfuttern. Für die Untersuchungen an der Flüssigfütterungsanlage bedeutender sind allerdings die erheblichen Unterschiede in der Löslichkeit der vier analysierten Elemente. Die beste Löslichkeit wiesen die Phosphatträger der Mineralfutter auf; speziell nach längerer Rührdauer stieg die P-Löslichkeit im Mittel aller Mineralfuttern auf über 50%. Dagegen lösten sich die Salze des Kupfers im Mittel nur zu ca. 24%. Eine noch geringere Löslichkeit hatten Calcium und Zink mit durchschnittlichen Werten von etwa 14 bzw. 9%. Zu beachten sind jedoch für alle untersuchten Mineralsstoffe die großen Schwankungen zwischen den einzelnen Mineralfuttern.

Tabelle 4.24: Löslichkeit (%) der Mineralfutterbestandteile (Verfahren a)

MF-Typ	Gesamt [#]	Ca	P	Cu	Zn
Mifu 1	39,8	17,6	62,4	32,8	3,0
Mifu 2	49,0	19,5*	67,9	42,7	4,5
Mifu 3	38,7	22,6	54,1	17,7	15,2
Mifu 4	38,9	23,1	64,1	18,4	18,8
Mifu 5	35,5	11,2	52,8	15,6	13,3
Mifu 6	29,4	5,0	37,4	29,3	5,4
Mifu 7	44,6	22,1*	42,1	41,4	13,0
Mifu 8	49,0	24,3	48,7	17,6	15,1
Mifu 9	37,7*	15,0*	44,6*	35,7	11,0
Mifu 10	30,9	3,9*	17,9	1,8	3,0
Mifu 11	22,2	10,0	46,4	1,8	3,9*
Mifu 12	34,1	11,3	65,4	13,9	12,2*
Mifu 13	26,8	5,6	19,5**	28,8	3,6
Mifu 14	34,2	11,2	41,1	37,9	4,1
Mifu 15	32,3**	7,9***	52,6*	20,3	5,3
Mittel	36,2	14,0	47,8	23,7	8,8
7 min	35,6	13,4	41,1	24,3	8,5
35 min	37,5	15,3	52,6	22,5	9,3

Gesamt: Trockenmasse im Filtrat

* Fett- und Kursivdruck weist auf eine signifikante Erhöhung der Löslichkeit nach längerer Rührdauer hin

4.6.1.2 Verfahren b

Da der Glasfiliertiegel bei Verfahren a zum schnellen Absaugen der Proben eine relativ große Durchlässigkeit aufweist, sollte mit Verfahren b diese Permeabilität für Feinpartikel durch den Einsatz eines Papierfilters aufgehoben werden. Die Einwaage des Mineralfutters und entsprechend das Wasservolumen wurden erhöht, um eine höhere Repräsentativität für das jeweils geprüfte Mineralfutter zu erreichen.

Verfahren b liefert ähnliche Abstufungen wie Verfahren a, allerdings bewegt sich die Löslichkeit auf einem niedrigeren Niveau. Die Gesamt-Löslichkeit der Mineralfutter beträgt im Schnitt 29% bei einer Spannweite von 17 bis 37% (siehe Tabelle 4.25). Bei den einzelnen Mineralstoffen liegen Phosphor und Kupfer im Mittel aller geprüften Mineralfuttertypen in einem Bereich von 30%. Demgegenüber erwiesen sich Calcium und Zink mit Werten von 4,7 bzw. 2,6% als nahezu unlöslich. Hervorzuheben sind aber auch die großen Variationsbreiten für die vier untersuchten Elemente. Auffällig wird dies besonders beim Kupfer, das in einigen Mineralfuttertypen vollkommen unlöslich blieb, währenddessen es in anderen Typen eine Löslichkeit von über 70% erreichte.

Für die Eignung der diversen Mineralfuttertypen für die Flüssigfütterung spielt die Löslichkeit insofern eine Rolle, als sich im Wasser gelöste Bestandteile homogen in

der Futtersuppe verteilen. Ein ideales Mineralfutter gibt es aber aufgrund der natürlichen Eigenschaften der eingesetzten Ressourcen nicht.

Tabelle 4.25: Löslichkeit (%) der Mineralfutterbestandteile (Verfahren b)

MF-Typ	Gesamt[#]	Ca	P	Cu	Zn
Mifu 1	31,2	7,0	46,0	51,4	1,2
Mifu 2	35,2	7,4	35,2	76,1	0
Mifu 3	25,0	4,2	28,8	17,3	6,2
Mifu 4	25,6	2,6	39,3	5,7	1,5
Mifu 5	30,3	2,1	16,5	3,7	0
Mifu 6	28,5	3,6	29,2	15,1	0
Mifu 7	35,7	7,8	31,2	76,6	0,4
Mifu 8	37,5	7,7	27,2	77,2	12,3
Mifu 9	32,8	4,1	37,0	67,2	3,8
Mifu 10	28,5	6,3	45,4	18,3	4,2
Mifu 11	29,9	3,2	16,5	0	0,4
Mifu 12	17,1	4,8	33,6	0	4,5
Mifu 13	24,6	2,4	23,1	2,3	9,5
Mifu 14	25,7	5,6	10,5	31,6	0
Mifu 15	32,1	2,1	25,0	59,5	0,3
Mittel	30,2	4,6	31,6	22,1	4,7
7 min	29,3	4,7	29,8	32,5	2,6
35 min					

Gesamt: Trockenmasse im Filtrat

4.6.2 Siebanalyse und Dichtebestimmung

Für die Siebanalyse standen Siebgrößen von 0,2 bis zu 1 mm in einem Siebturm zur Verfügung. Die prozentuale Massenverteilung über fünf Siebfraktionen zeigt für die jeweiligen Mineralfutter deutliche Unterschiede (siehe Tabelle 4.26). Auch innerhalb der einzelnen Hersteller der Mineralfutter ist die Variation beachtlich. Die Dichte der einzelnen Mineralfutter, die mittels Pyknometer bestimmt wurde, variierte von etwa 2,01 bis 2,51 kg/m³. In drei ausgewählten Mineralfuttern hatten die feinkörnigsten Bestandteile (< 0,25 mm) die höchste Dichte (Tabelle 4.27). Es ist daher zu erwarten, dass diese im Anmischbehälter schnell auf den Grund sinken und vom Rührwerk wieder aufgewirbelt werden müssen, soweit sie nicht wasserlöslich sind. Auch Mineralfuttern wie Mifu 5 könnten ein verändertes Sedimentationsverhalten gegenüber anderen Typen demonstrieren.

Tabelle 4.26: Prozentualer Anteil der jeweiligen Siebfraction in der Siebanalyse sowie Dichte verschiedener Mineralfutter

MF-Typ	Siebfraction [mm]					Dichte [kg/m ³]
	< 0,2	0,2 - < 0,315	0,315 - < 0,5	0,5 - < 1	> 1	
Mifu 1	19,4	24,4	11,4	19,0	25,8	2,281
Mifu 2	15,6	23,9	15,1	18,7	26,5	2,012
Mifu 3	10,6	41,4	8,8	23,1	16,0	2,394
Mifu 4	8,4	34,9	12,1	25,4	19,2	2,510
Mifu 5	6,5	19,4	15,8	36,1	22,1	2,369
Mifu 6	3,5	20,2	18,8	38,2	19,4	2,363
Mifu 7	7,7	19,9	20,5	36,7	15,1	2,202
Mifu 8	12,1	29,0	15,0	22,5	21,4	2,137
Mifu 9	11,3	29,9	16,7	24,3	17,5	2,199
Mifu 10	12,6	23,6	17,3	38,5	8,0	2,371
Mifu 11	17,8	23,7	11,5	22,7	24,3	2,269
Mifu 12	17,4	40,5	17,0	22,8	2,3	2,337
Mifu 13	19,2	28,0	14,2	24,6	14,1	2,384
Mifu 14	25,5	17,4	13,0	32,8	11,3	2,356
Mifu 15	9,4	25,5	14,9	30,3	19,9	2,320
Mittel	12,1	14,1	13,5	42,7	17,7	2,327
Mittel	13,1	26,0	14,7	28,6	17,5	2,302

Tabelle 4.27: Dichte (kg/m³) von Siebfractionen einiger Mineralfutter (MF)

MF-Typ	Siebfraction [mm]				Gesamt- MF
	< 0,25	0,25 - < 0,5	0,5 - < 1	> 1	
Mifu 3	2,598	2,393	2,229	2,192	2,394
Mifu 5	2,427	2,441	2,326	2,200	2,369
Mifu 6	2,357	2,378	2,234	2,205	2,363
Mittel	2,461	2,404	2,263	2,199	2,375

5 Diskussion

Aus der Perspektive der Tierernährung wird von Flüssigfütterungsanlagen erwartet, dass sie das erforderliche Futter in Menge und Nährstoffprofil aus den vorgegebenen Futterkomponenten zielgerecht anmischen und schließlich mit ausreichender Genauigkeit den Tieren zuteilen. Gruppengröße und Alter der Tiere bestimmen vor allem die pro Fütterungstermin und Station auszugebende Größe der Futterportion. Entwicklungsstadium und Leistungsintensität der Tiere erfordern zur leistungsorientierten Nährstoffversorgung auch Anpassungen in der Rezeptur der Futtermischungen. Daraus ergibt sich, dass Flüssigfütterungsanlagen in ihrer quantitativen und qualitativen Dosiergenauigkeit eine angemessene Flexibilität bei Erhalt ihrer Funktionssicherheit aufweisen müssen. Während sich die quantitative Dosiergenauigkeit von Fütterungsanlagen durch Kontrollwägungen der Futterportionen relativ einfach feststellen lässt, erfordert die Prüfung der qualitativen Dosiergenauigkeit die Entnahme von repräsentativen Proben sowie deren Aufbereitung und Analyse auf kritische Nährstoffe.

Dementsprechend lag ein Schwerpunkt der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen im Bereich der Prüfung und Entwicklung von geeigneten Probenahmeverfahren für die Untersuchung der Mischgüte im Anmischbehälter und die Analyse des Nährstoffprofils in den ausdosierten Futterportionen entlang der Dosierstrecke der Simulationsanlage. Für die Nährstoffanalytik wurden über Trockenmasse und Rohasche hinaus Rohprotein und die Mineralstoffe Calcium, Phosphor, Kupfer und Zink ausgewählt.

5.1 Nährstoffverteilung im Flüssigfutter

Die im dosierfertigen Flüssigfutter enthaltenen Nährstoffe kommen zu recht unterschiedlichen Anteilen aus den eingesetzten Futterkomponenten. Dies verdeutlicht Tabelle 5.1 am Beispiel der Gerste-Soja-Futtermischung. Die im zweiten Versuchsabschnitt verwendete Gerste-Weizen-Soja-Mischung weist in der Auswertung nahezu identisch Werte auf. Bei diesen Mischungen entfallen etwa 45% des Rohproteins auf Sojaschrot. Bei der Rezeptur einer proteinärmeren Mischung würden diese Anteile sinken. Dies trifft auch für die Phosphorverteilung zu.

Besonders hervorzuheben ist auch der Beitrag des Mineralfutters zum Nährstoffprofil des Flüssigfutters. Bei einem Anteil von etwa 3% an der Trockenmasse werden beim

Calcium, Kupfer und Zink Anteile von 80% und mehr erreicht. Im Falle der Spurenelemente ist allerdings zu berücksichtigen, dass bedingt durch die hohen Gehalte im Mineralfutter (siehe Tabelle 5.1) im Mischfutter Konzentrationen erreicht werden, die die Zufuhrempfehlungen für wachsende Schweine oder Sauen (GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPYSIOLOGIE 2006) erheblich überschreiten. Unabhängig davon wird aber durch die in Tabelle 5.1 aufgezeigten Verhältnisse deutlich, dass die homogene Verteilung der Bestandteile des Mineralfutters im Flüssigfutter besondere Beachtung verdient. Eine Prüfung auf Homogenität der Nährstoffverteilung, die sich bezüglich Mineralstoffverteilung auf Rohasche beschränkt, lässt nur sehr eingeschränkt Rückschlüsse auf die Verteilung einzelner Mineralstoffe zu. Dies gilt ganz besonders, wenn die Mineralstoffe sich nicht im Wasser lösen und ein hohes spezifisches Gewicht aufweisen. Zu diesen Eigenschaften von verschiedenen Mineralfuttermitteln wurden bereits in Tabelle 4.24 und 4.25 umfangreiche Ergebnisse vorgestellt.

Tabelle 5.1: Nährstoffgehalt und relativer Anteil der Futtermittel am Nährstoffgehalt von Flüssigfutter der Mischung A

Futtermittel (Anteil)	Gerste (79,0%)	Sojaschrot (18,0%)	Mineralfutter (3,0%)¹	Mischung
Nährstoffgehalt der Futtermittel:				
Trockenmasse (% TM)	89,3	90,8	96,2	89,8
Rohasche (g/kg TM)	24,3	68,5	840	59
Rohprotein (g/kg TM)	139	496	0	200
Calcium (g/kg TM)	0,5	3,5	237	8,6
Phosphor(g/kg TM)	4,7	8,0	76	7,6
Kupfer (mg/kg TM)	4,0	18,2	1065	41
Zink (mg/kg TM)	32,2	56,0	5230	204
Nährstoffanteil am Flüssigfutter in %:				
Trockenmasse	78,6	18,2	3,2	100
Rohasche	32,6	21,3	46,1	100
Rohprotein	54,7	45,3	0	100
Calcium	4,5	7,4	88,1	100
Phosphor	48,7	19,2	32,1	100
Kupfer	7,7	8,1	84,2	100
Zink	12,4	5,0	82,6	100

¹ Als Mineralfutter wurde das Mifu 6 eingesetzt

5.2 Probenahmeverfahren

Die Prüfung der Flüssigfütterungssimulationsanlagen auf ihre qualitative Dosiergenauigkeit erfordert geeignete Probenahmeverfahren. Ein gleichbleibendes Nährstoffprofil in den ausdosierten Futterportionen von Ventil zu Ventil ist nur zu erwarten, wenn im Mischbehälter eine ausreichend homogene Verteilung der Futterbestandteile und damit auch der Nährstoffe vorliegt. Im Mischbehälter ist vor allem durch Sedimentations- und Flotationsbewegungen der Futterpartikel mit möglichen Abweichungen in vertikaler Richtung zu rechnen. Demzufolge wurden beide Bereiche der Simulationsanlagen - Mischbehälter und ausdosierte Futterportionen - in die Entwicklung und Prüfung von Probenahmeverfahren einbezogen.

5.2.1 Probenahme aus dem Mischbehälter

Um die Mischgüte der Futterkomponenten im Anmischbehälter bewerten zu können, ist eine Probenentnahme aus allen Schichthöhen, insbesondere auch aus dem Bodenbereich erforderlich. Der hier eingesetzte Probenmessstab mit fünf Kammern (siehe Abbildung 3.12 bis 3.14) ermöglicht die gleichzeitige Probengewinnung über die gesamte Futtersäule von der Bodenschicht bis zur Oberfläche. Je nach Füllstand im Mischbehälter können Kammern im oberen Bereich nur teilweise mit Flüssigfutter gefüllt sein oder sogar leer bleiben. Aus Sicherheitsgründen kann der Messstab grundsätzlich nur bei stehendem Rührwerk eingesetzt werden. In der vorliegenden Studie war es allerdings bei Anlage A mit dem Propellerkranz-Rührwerk möglich und vertretbar, mit dem Stab auch bei laufendem Rührwerk Proben bis in den Bodenbereich zu entnehmen. Die vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, dass unter den hier gewählten Bedingungen (Futter-Wasser-Verhältnis im Bereich von 1:3) in der Zeit bis zum völligen Stillstand des Rührwerks nicht mit nennenswerten Entmischungen der Futtersuppe zu rechnen ist, so dass auch Proben, die innerhalb von etwa 1 Minute nach Stillstand des Rührwerks mit dem Stab gezogen werden, die erzielte Mischgüte adäquat widerspiegeln. Wie auch aus Tabelle 4.1 hervorgeht, hatten Proben, die bei stehendem Rührwerk entnommen wurden, keine schlechteren Wiederholbarkeiten als Proben aus Entnahmen bei laufendem Rührwerk.

Bei der Probenentnahme mit dem Messstab ist sichergestellt, dass die Proben aus unterschiedlichen Schichthöhen der Futtersäule gewonnen werden, da die Öffnungen der Probenkammern beim Eintauchen und Entfernen des Stabes geschlossen sind. Durch die Beschichtung mit Silikonfett wird erreicht, dass auch keine Flüssigkeit und darin gelöste Nährstoffe unkontrolliert verloren gehen. Die separate Entnahme der Proben aus den einzelnen Kammern ist jedoch eine diffizile und sehr zeitaufwändige

Angelegenheit. Zum Entleeren muss das Innenrohr stufenweise aus dem Mantelrohr gezogen werden, um den Inhalt jeder Kammer separat aufzufangen. Für die Entfernung von Futterresten ist auch ein Nachspülen (Aqua dest. in den Versuchen) erforderlich. Wenn der Trockenmassegehalt der Futtersuppe bestimmt werden soll, wie dies in den vorliegenden Versuchen der Fall war, muss auch dieses zum Nachspülen eingesetzte Wasser quantitativ erfasst werden. Selbst wenn die Entleerung des Probenabnahmesstabes sehr zeitaufwändig ist und besondere Sorgfalt erfordert, bietet dieses Verfahren dennoch eine exzellente Möglichkeit, mit einem einzigen Entnahmevergange die gesamte Höhe der Futtersäule im Anmischbehälter zu beproben. Die mit diesem Verfahren gewonnenen Erfahrungen bestätigen, dass inhomogene Nährstoffverteilungen im vertikalen Profil der Futtersuppe mit - für praktische Belange der Tierernährung - ausreichender Empfindlichkeit nachgewiesen werden können.

Der Aufwand für die Probenentleerung aus dem Messstab verringert sich, wenn aus dem Mischbehälter nur eine Querschnittsprobe gezogen werden soll, so dass die Portionen in den einzelnen Kammern zu einer Gesamtprobe gepoolt werden können. Auch der Aufwand für die Probenaufbereitung und -analytik reduziert sich entsprechend. Dieses vereinfachte Verfahren der Beprobung wurde in einigen Untersuchungen eingesetzt und findet auch heute noch bei der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Verwendung. In Tabelle 4.1 sind für dieses vereinfachte Verfahren die Wiederholstandardabweichungen dargelegt. Im Falle ausreichend homogener Verteilung der Futterbestandteile im Mischbehälter sind ähnlich hohe Probenahmefehler (s_w und W) zu erwarten, wie sie bei einer nach Schichthöhen (Kammern) differenzierten Analyse der Einzelproben erzielt werden.

Für den statistischen Nachweis von deutlichen Abweichungen in der mittleren Nährstoffkonzentration in einzelnen Schichthöhen des Mischbehälters ist der Probenahmefehler maßgeblich. Dieser lässt sich aus der wiederholten Entnahme von Proben aus der gleichen oder einer vergleichbaren Futterpartie ermitteln. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen mit wiederholter Probenahme ließ sich dieser Probenahmefehler varianzanalytisch als Wiederholstandardabweichung ermitteln. Bei den für den Probenmessstab in Tabelle 4.1 ausgewiesenen Wiederholstandardabweichungen wurde nicht nach Schichthöhe im Mischbehälter differenziert. Dies ist insofern gerechtfertigt, als es in diesen und auch weiteren Untersuchungen keinen Hinweis darauf gab, dass die Wiederholstandardabweichung von der Schichthöhe und damit der Kammer des Probenmessstabes beeinflusst wurde. Dies ist allerdings nur dann zu erwarten, wenn in der Futtersäule keine größere Variation in der Nährstoffverteilung auftritt. In den Abbildungen 4.35 und 4.41 wird deutlich, dass beim Anmischen ohne Umpumpen gerade in der Bodenschicht starke Schwankungen und folglich hohe Standardabweichungen in der Konzentration einzelner Nährstoffe

auftreten können. Dies betraf insbesondere die Rohasche (Abbildung 4.36) und die Mineralstoffe (Abbildung 4.37 bis 4.40). In diesen Fällen ist es nicht gerechtfertigt, für alle Schichthöhen einen gemeinsamen Probenahmefehler anzunehmen.

Der entwickelte Probenmessstab ermöglicht die Entnahme von repräsentativen Proben über den gesamten Bereich der Futtersäule im Anmischbehälter nach Abschalten des Rührwerks. Sein Einsatz hat sich bei zwei verschiedenen Anmischbehältern bewährt, um systematische Abweichungen in der Nährstoffverteilung auf unterschiedliche Schichthöhen mit praxisrelevanter Empfindlichkeit nachzuweisen.

5.2.2 Probenahme nach der Ausdosierung

Anlass für die Notwendigkeit der Probenentnahme aus Flüssigfutter nach der Ausdosierung an den einzelnen Ventilstationen ist die Endkontrolle der Arbeitsgenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen, um sicherzustellen, dass zugeteilte Futterportionen auch qualitativ, d.h. im Nährstoffprofil, den Vorgaben entsprechen. Nach den vorliegenden Erfahrungen lassen sich verschiedene Verfahren einsetzen, ohne dass erhebliche Unterschiede im Probenahmefehler zu erwarten sind. Die erzielten Probenahmefehler sind für die geprüften Verfahren in Tabelle 4.1 in Form von Wiederholstandardabweichungen zusammengestellt.

Becher-Handentnahme und Einsatz des kurzen Probenmessstabes setzen voraus, dass die Futtersuppe vor der Probengewinnung möglichst homogen durchmischt wird, um sicherzustellen, dass repräsentative Aliquote zur Analyse gehen. Bei diesen Verfahren sind das Geschick und die Erfahrung des Probenehmers von besonderer Bedeutung. Vor allem bei der Handentnahme wird die Messgenauigkeit maßgeblich vom Probenehmer beeinflusst, denn der zufällige Fehler steigt bei „ungeübten“ Probenehmern deutlich an (siehe Abbildung 4.11 bis 4.15). Die Konsequenz aus dieser Tatsache wäre die Erstellung und Befolgung einer Entnahmevorschrift. Die hohen Rundtonnen als Auffanggefäße für ausdosiertes Futter waren für die Beprobung vorzuziehen, da sie mit ihrer kleineren Bodenfläche auch für vergleichsweise kleine Probemengen geeignet sind.

Die eigenen Erfahrungen mit dem Radprobenteiler bei der Probenentnahme aus dem fließenden Futterstrom während der Ausdosierung lassen keine entscheidenden Vorteile gegenüber der Becher-Handentnahme (Schöpfmethode) oder der Entnahme mit dem Probenmessstab erkennen. Zudem ist dieses Verfahren technisch sehr aufwändig und mit unvermeidbar hohen Futtermittelnverlusten verbunden. Die erzielten Probenahmefehler (s_w -Werte in Tabelle 4.1) sind im Vergleich zu den zuvor genannten

Alternativverfahren (Handentnahme, Probenmessstab) nicht geringer. Auch beim Einsatz des Laborprobenteilers traten ähnlich hohe s_w -Werte wie bei der Handentnahme (inklusive Probenmessstab) auf. Wie bereits unter 4.14 ausgeführt, erwies sich die Ausrüstung dieses Laborprobenteilers mit einem für die Aufteilung von flüssigen Medien konzipierten Zubehör letztlich als ungeeignet, Flüssigfutter zielgerecht und störungsfrei in Teilmengen aufzuteilen. Damit erfüllte sich leider nicht die ursprüngliche Hoffnung, auf diesem Wege große Flüssigfutterproben auf kleine und dennoch repräsentative Aliquote zu reduzieren und damit auch den beachtlichen Zeitaufwand für die Probentrocknung (über 5 Tage) zu verringern.

Tabelle 5.2: Varianzanalytische Aufteilung des Gesamt-Probenahmefehlers aus der Untersuchung des Nährstoffprofils im Flüssigfutter (Mischung B) nach der Ausdosierung von 20 kg an neun Ventilen durch zwei Anlagen (Versuch 2)

Nährstoff (in d. TM)	Mittelwert ¹⁾	Gesamt ²⁾	Probenahme ³⁾	Analyse ⁴⁾
Rohasche (%)	5,45	0,17	0,11***	0,06
Rohprotein (%)	19,48	0,77	0,52***	0,24
Calcium (g/kg)	8,66	0,28	0,18***	0,12
Phosphor (g/kg)	6,72	0,16	0	0,16
Kupfer (mg/kg)	33,0	1,11	0,51	0,84
Zink (mg/kg)	181	7,66	4,33**	4,60

1) Gesamt-Mittelwert ($n = 72$)

2) Wurzel aus der mittleren Restvarianz (σ^2) zwischen je zwei Proben aus 18 Futterportionen (dosiert an 9 Ventilpositionen durch 2 Anlagen).

3) Schätzwert für σ_p^2 , wobei gilt σ_g^2 (gesamt, 18 FG) = $(\sigma^2 + 2 \sigma_p^2)$, σ^2 den Analysenfehler und σ_p^2 den eigentlichen Probenahmefehler darstellen.

Signifikanz von σ_p^2 : *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$

4) Zwei separate Einwaagen aus der Analysenprobe zur getrennten Analyse: Wurzel aus der mittleren Varianz innerhalb der Proben (σ^2 , 36 FG).

Probenahme-Maßnahmen und Analysen sind unvermeidlich mit zufälligen Fehlern und möglicherweise zusätzlich auch mit systematischen Fehlern, verbunden. Die in Tabelle 4.1 ausgewiesenen s_w -Werte beinhalten unter anderem den Probenahmefehler. Grundsätzlich setzen sich diese s_w -Werte bzw. (Gesamt)-Probenahmefehler aus Abweichungen zwischen Proben (Probenahmefehler im eigentlichen Sinne) und Abweichungen zwischen Doppelanalysen an den einzelnen Proben (Analysenfehler)

zusammen, wobei Fehler in der Herstellung der Analysenproben (Probenaufbereitung) gewöhnlich dem Analysenfehler zugeordnet werden. Tabelle 5.2 zeigt am Beispiel der varianzanalytischen Auswertung von Daten zur qualitativen Dosiergenauigkeit der beiden geprüften Flüssigfütterungsanlagen den Gesamt-Probenahmefehler, den per Differenzrechnung ermittelten eigentlichen Probenahmefehler und den Analysenfehler für die untersuchten Rohnährstoffe und Mineralstoffe. Im Falle von Rohasche, Rohprotein, Calcium und Zink liegen deutliche Probenahmefehler (im engeren Sinne) vor, die über den Analysenfehler hinaus den Gesamt-Probenahmefehler erhöhen. Dies lässt sich im Falle von Rohasche, Calcium und Zink darauf zurückzuführen, dass diese Elemente überwiegend aus dem Mineralfutter (Vergleiche Tabelle 5.1) stammen. Dies hat zur Folge, dass bei diesen Elementen in den Analysenproben trotz Feinvermahlung (hier 0,5 mm Siebfeinheit) keine völlig homogene Verteilung erwartet werden kann. Es ist daher davon auszugehen, dass ein Mineralstoffteilchen mehr bzw. weniger bei der Einwaage von kleinen Aliquoten aus der Analysenprobe zur Einleitung des Analysenganges am Ende zu stärkeren Abweichungen zwischen den Messwerten führen kann. Dies ist jedoch kein Phänomen, das spezifisch für die Analyse von Flüssigfutter ist, sondern ein generelles, das für trockene Mischfutter analog gilt. Dementsprechend werden im Rahmen der amtlichen Futtermittelkontrolle für Calcium und Spurenelemente höhere Analysenspielräume angesetzt als für Rohasche, Rohprotein und Phosphor (siehe BUCHHOLZ et al. 1996).

Für die Gewinnung von repräsentativen Proben aus Flüssigfutter nach der Ausdosierung an den Ventilen erwiesen sich Becher-Handentnahme oder Entnahme mit dem speziell entwickelten Probenmessstab als gut geeignet, wobei darauf zu achten ist, dass das Flüssigfutter unmittelbar vor der Beprobung durchmischt wird. Die Probenentnahme aus Rundtonnen mit hohem Füllstand erwies sich gegenüber Auffanggefäßen mit niedrigem Füllstand als vorteilhafter. Andere geprüfte Verfahren, nämlich Radprobenteiler und Laborprobenteiler, konnten sich in den vorliegenden Untersuchungen nicht zur Prüfung der qualitativen Dosiergenauigkeit qualifizieren.

5.3 Mischgüte und Mischstabilität

Bei der Vermischung von Futterkomponenten und Wasser zu einem Flüssigfutter interagieren Eigenschaften der Futtermittel und anlagentechnische Variable, die letztlich die erzielte Mischgüte und Mischstabilität definieren. Die meisten Nährstoffe sind wasserunlöslich. Die Mischgüte hängt dementsprechend entscheidend von der Vermischung der Futterpartikel ab.

5.3.1 Futtermittelbezogene Einflüsse

Für die Verteilung der Futterteilchen im Medium Flüssigfutter haben verschiedene Eigenschaften, darunter Dichte, Größe und Form sowie Quellfähigkeit und Löslichkeit eine besondere Bedeutung. Aus den Abbildungen 4.52 und 4.53 geht hervor, dass die Schwankungen in der Verteilung der Trockenmasse mit der Standzeit des Flüssigfutters (Mischung A) nach dem Anmischen abnahmen, insbesondere in der untersten und obersten Schicht der Futtersäule. Dieser zeitabhängige Rückgang in den TM-Schwankungen dürfte damit zu erklären sein, dass Futterbestandteile im Kontakt mit Wasser quellen. Wasserbindungsvermögen besitzen vor allem verschiedene Polysaccharide wie zum Beispiel Stärke, β -Glukane und Pektine. Durch Gelbildung und einen damit einhergehenden Anstieg der Viskosität wird die Beweglichkeit von Futterpartikeln und Wasser herabgesetzt. Sedimentations- und Flotationsbewegungen werden gebremst oder verhindert. Da sich in den Konzentrationen der einzelnen Rohnährstoffe und Mineralstoffe bezogen auf die Trockenmasse keine entsprechenden zeitabhängigen Veränderungen der Variationskoeffizienten (Tabelle 5.3) abzeichneten, ist anzunehmen, dass sich die Durchmischung der Futterteilchen untereinander mit längerer Standzeit nicht verbesserte. Auch in einem zweiten Versuch, in dem die Futtermischung B eingesetzt wurde (Abbildung 4.53), gingen die Schwankungen in der TM-Konzentration mit der Standzeit des Flüssigfutters zurück, währenddessen die Rohaschekonzentration eine Zunahme in der untersten und eine Abnahme in der obersten Schicht erkennen ließ. Dieser Effekt der Standzeit auf die TM- und RA-Verteilung ist im Wesentlichen auf die ersten Stunden nach dem Anmischen begrenzt.

Tabelle 5.3: Variationskoeffizienten der Nährstoffgehalte in Flüssigfutter im Mischbehälter in Abhängigkeit von der Standzeit nach dem Anmischen

Nährstoff	TM	RA	RP	Ca	P	Cu	Zn
Zeit [h]	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
0,28	2,1	2,1	3,4	4,0	10,5	2,6	8,1
0,77	1,0	2,3	1,8	3,1	6,2	4,3	8,3
1,08	1,3	2,9	3,0	4,5	9,7	4,2	11,3
1,5	1,2	1,4	2,0	2,4	6,7	4,7	5,4
1,85	1,2	1,0	2,1	3,7	7,1	1,0	4,0
2,35	1,1	2,4	2,0	5,7	7,8	3,1	4,9
3	0,6	3,2	0,8	4,2	2,5	5,8	2,5
4	0,6	1,6	1,7	2,1	5,3	1,7	5,8
22	0,7	4,2	2,0	5,1	6,5	3,5	7,0
Mittel	21,0	5,7	21,4	8,5	7,8	99,4	149,8
Ges.-VK	1,2	3,2	1,2	3,3	2,2	3,4	6,2

Zu den futtermittelbezogenen Einflüssen auf die Mischhomogenität lässt sich auch das Futter: Wasser-Verhältnis zählen. Die Ergebnisse in Abbildung 4.60 und 4.61 deuten darauf hin, dass bei erweitertem Futter-Wasser-Verhältnis mit keiner nennenswerten Variation der Nährstoffkonzentrationen zu rechnen ist.

Es lässt sich schlussfolgern, dass nachgewiesene systematische Abweichungen im Trockenmasse- bzw. Wassergehalt von Proben aus unterschiedlichen Schichthöhen der Futtersuppe im Mischbehälter mit zunehmender Standzeit (bei wiederholtem Mischvorgang) zurückgehen. Aus diesem Befund ist jedoch nicht abzuleiten, für die Fütterungspraxis eine mehrstündige Standzeit zum Zweck einer besseren Homogenität des Flüssigfutters einzuplanen. Auf die Zusammensetzung der Trockenmasse hatte die Standzeit keinen messbaren Einfluss.

5.3.2 Anlagentechnische Einflüsse

Anlagentechnische Variable, deren Einfluss auf die Mischgüte von Flüssigfutter in verschiedenen Versuchen untersucht wurde, betrafen Umpumpen, Mischbehälter und Rührwerk.

Das Umpumpen der Futtersuppe durch die Förderpumpe der Anlage zur Unterstützung des Anmischprozesses hatte bei weitem den stärksten Einfluss auf die erzielte Mischgüte (siehe Abbildungen 4.35 bis 4.41). Die Installation des Bypasses ermöglichte ein Umpumpen über eine Kurzstrecke des Ringleitungssystems (Mischumlauf). Ohne Umpumpen wurde keine akzeptable Mischhomogenität erreicht. Im Bodenbereich des Behälters kam es zur Anreicherung von Mineralstoffen. Unter den hier untersuchten Mineralstoffen zeigte sich dies beim Calcium und Zink besonders deutlich. Dieser Versuch zur Bedeutung des Umpumpens für den Mischvorgang war auf die Anlage A mit Propellerkranz-Rührwerk beschränkt. Es ist nicht auszuschließen, dass auch bei anderen Anlagen ein laufendes Rührwerk alleine nicht ausreicht, um die Anhäufung von mineralstoffreichen Teilchen im Bodenbereich zu verhindern. Mit Ausnahme dieses speziellen Versuches wurden alle weiteren an der Pilotanlage durchgeführten Untersuchungen stets mit einem Umpumpen über den Bypass kombiniert. Die Abbildungen 4.28 bis 4.34 verdeutlichen, dass nach dem Anmischen mit Umpumpen eine gleichmäßige Verteilung der Mineralstoffe auf alle Schichthöhen erreicht wurde und eine Anreicherung im Bodenbereich nicht mehr zu beobachten war. Eine optimale Mischgüte wurde trotz Standzeit des Flüssigfutters über mehrere Stunden und Umpumpen vor der Probenentnahme aus dem Mischbehälter nicht immer erreicht. Aus der Variation der TM- und RA-Konzentration im Mischbehälter der Anlage B in einem Versuch mit der Futtermischung B (Abbildungen 4.56 und 4.57) geht hervor, dass sich vor allem unterste und oberste Schicht in diesen Merkmalen deutlich unterscheiden. Auch bei der Anlage A mit dem Propellerkranz-Rührwerk ließ sich eine unterschiedliche RA-Konzentration zwischen der untersten und obersten Schicht nachweisen, wobei jedoch die Abweichungen von der mittleren Konzentration insgesamt relativ niedrig blieben. In zwei Versuchen, in denen die Rezeptur mit Gerste und Weizen bei der Anlage A mit dem original Kreuzbalken-Rührwerk oder mit Propellerkranz-Rührwerk angemischt wurde, lagen im Bodenbereich höhere Rohaschekonzentrationen als in der obersten Futterschicht vor (siehe Abbildung 4.57). Diese Konzentrationsunterschiede bewegten sich allerdings in einem relativ engen Bereich und unterstreichen die erreichte analytische Präzision von relativ geringen Konzentrationsunterschieden.

Um im Anmischbehälter eine ausreichend gleichmäßige Verteilung der Nährstoffe, insbesondere der Mineralstoffe, zu erreichen, ist unabhängig von Behälter und Rührwerk ein Umpumpen des Flüssigfutters vor der Ausdosierung erforderlich. Anlagentechnische Variable bezüglich Wahl des Behälters und Rührwerks ließen demgegenüber bei einer vergleichenden Wertung der verschiedenen Versuche keine eindeutigen Unterschiede bezüglich der erzielten Mischgüte zwischen den untersuchten Anlagenvarianten erkennen.

5.3.3 Mischstabilität

Flüssigfutter gilt als instabile Mischung. Bei Unterbrechung des Mischprozesses ist infolge von möglichen Sedimentations- und Flotationsbewegungen der Futterpartikel mit Entmischungen zu rechnen. Dies dürfte bei weitem Futter-Wasser-Verhältnis eher der Fall sein als bei engem Verhältnis. Andererseits ist damit zu rechnen, dass viskositätssteigernde Kräfte, wie sie durch Wasserbindung und Gelbildung auftreten können, den Entmischungsvorgängen entgegenwirken. Die Mischstabilität wurde an der Simulationsanlage in verschiedenen Versuchen bei Variation des Mischbehälters, des Rührwerks und auch der Futtermischung durch eine zeitlich gestaffelte Probenentnahme nach Abschalten der Mischaggregate geprüft. In allen Fällen hatte das Flüssigfutter mehrere Stunden gestanden, so dass Quellprozesse weitgehend abgeschlossen waren. Aus den gewonnenen Ergebnissen (Tabelle 5.4) lässt sich schlussfolgern, dass innerhalb von einer Minute nach Abschalten des Rührwerks nicht mit erheblichen Entmischungen zu rechnen ist. Mit Zunehmen der Standzeit der Futtermischung B (Gerste und Weizen als Getreide) ließ sich jedoch erwartungsgemäß in der Rohaschekonzentration ein deutliches Gefälle zwischen Boden- und Oberflächenschichten nachweisen (Tabelle 5.4). Von dieser Konzentrationsverschiebung dürften vor allem Calcium und weitere Mineralstoffe aus dem Mineralfutteranteil betroffen sein. Die für beide Futtermischungen gewählten Futter-Wasser-Verhältnisse liegen im praxisrelevanten Bereich.

Tabelle 5.4: Variation der TM- und RA-Konzentrationen im Flüssigfutter nach unterschiedlicher Abschaltzeit des Rührwerks

	<i>Abschaltzeit in Sekunden</i>				
	0	60	180	360	Mittel
Trockenmasse (%)					
Ges.-Mittel ¹⁾	22,12 ^x	22,22 ^x	22,15 ^x	22,17 ^x	22,16
VK (%)	0,59	0,37	0,76	0,84	0,66
Restfehler (rel., %)	0,63	0,44	0,58	0,40	
Schicht	Rel. Abweichung vom Ges.-Mittel (%)				
Kammer 1	-0,07	-0,27	-1,08	-1,42 ^b	-0,71 ^a
Kammer 2	-0,38	-0,11	0,03	0,04 ^b	-0,11 ^a
Kammer 3	0,23	0,09	0,43	0,69 ^b	0,36 ^a
Kammer 4	0,52	0,14	0,66	0,18 ^b	0,37 ^a
Kammer 5	-0,29	0,14	-0,04	0,51 ^a	0,08 ^a
Streubereich	1,9	0,9	2,4	2,8	2,8
Signifikanz, P	ns	ns	ns	<0,05	<0,01

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

<i>Abschaltzeit in Sekunden</i>					
	0	60	180	360	Mittel
Rohasche (%)					
Ges.-Mittel ¹⁾	5,12 ^x	5,12 ^{xy}	5,26 ^{xy}	5,31 ^y	5,23
VK (%)	0,89	1,82	2,22	6,02	3,56
Restfehler (rel., %)	1,17	1,85	1,45	4,03	2,43
Schicht	Rel. Abweichung vom Ges.-Mittel (%)				
Kammer 1	0,33	-0,96	-1,69	-2,90	-1,32 ^a
Kammer 2	-0,06	-1,63	-0,93	-3,37	-1,52 ^a
Kammer 3	0,04	1,06	1,82	-0,55	0,59 ^{ab}
Kammer 4	-0,25	0,29	-1,79	-2,90	-1,17 ^a
Kammer 5	-0,16	1,25	2,59	9,71	3,42 ^b
Streubereich	2,3	9,8	6,5	20,0	21,0
Signifikanz, P	-0,29	0,14	-0,04	0,51^a	0,08^a

- ¹⁾ x, y Mittelwerte in der Zeile mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($p < 0,05$; Tukey-Test)
- ²⁾ Im Falle von signifikanten Unterschieden ($p < 0,05$) zwischen Schichthöhen kennzeichnen Buchstaben (a, b) deutliche Abstufungen (Tukey-Test)

Wenn die Ausdosierung bei laufendem Rührwerk und nach kurzem Umpumpen der Futtersuppe über die Ringleitung erfolgt, ist nicht zu erwarten, dass Entmischungsprozesse im Wiegemischbehälter während einer vorgelagerten Standzeit der Futtersuppe die qualitative Dosiergenauigkeit nachteilig beeinflussen. Entscheidend ist jedoch diesbezüglich die erreichte Mischgüte vor Beginn der Ausdosierung. Die Analyse von Proben, die unmittelbar nach Abschalten des Rührwerks und teilweise auch bei laufendem Rührwerk aus dem Mischbehälter entnommen wurden, ergab, dass vor allem bei den Mineralstoffen zwischen Boden- und Oberflächenschichten Konzentrationsunterschiede auftreten können, die sich nicht mit Entmischungsvor-

gängen aufgrund zeitlicher Verzögerung der Probenentnahme erklären lassen, sondern vielmehr eine unzureichende Vermischung der Futterpartikel durch die laufenden Mischaggregate reflektieren (siehe Kapitel 5.3.2).

Wenn während der Ausdosierung der Futterportionen der Mischprozess fortgesetzt wird, rücken Aspekte der Entmischung im Behälter in den Hintergrund. Mischungen, die stärker zur Entmischung neigen (zum Beispiel mit erweitertem Futter-Wasser-Verhältnis), dürften gleichzeitig auch Mischungen sein, für die der Mischprozess selbst die kritische Phase in der Zielsetzung darstellt, nämlich Erreichen und Stabilisieren einer ausreichend homogenen Verteilung der Futterpartikel und damit der Nährstoffe in der Futtersuppe.

Nach den vorliegenden Ergebnissen ist innerhalb einer kurzen Zeitspanne von einer Minute nach Unterbrechung des Mischvorganges nicht mit erheblichen Entmischungsvorgängen zu rechnen. Mit längerer Wartezeit bis zur Probenahme ließ sich im Mischbehälter ein Anstieg der Rohaschekonzentration im Bodenbereich und eine Abnahme im Oberflächenbereich nachweisen.

5.4 Quantitative Dosiergenauigkeit

Die quantitative Dosiergenauigkeit der Versuchsanlagen wurde anhand von drei Merkmalen geprüft: Sollwertdifferenz (SWD), Variationskoeffizient (VK) und Dosierfehler (DF). Die mittlere Sollwertdifferenz ist bei wiederholter Messung ein Maß für systematische Abweichungen der auszudosierenden Futterportionen. Mit dem Variationskoeffizienten werden die zufälligen Schwankungen bei wiederholter Ausdosierung erfasst. Der Dosierfehler ergibt sich aus der Addition beider Fehlerarten als Relativmaß bezogen auf die Sollmasse bzw. auf die im Mittel beobachtete Dosiermenge. Hohe Dosierfehler können daher aus einem hohen VK-Wert oder SWD-Wert oder auch aus der Addition beider Merkmale resultieren.

Legt man als Zielgröße der Dosiergenauigkeit einen Dosierfehler von maximal 5% fest (BOXBERGER 1987), geht aus den in den Tabellen 4.2 bis 4.7 dargelegten Versuchsdaten hervor, dass bei Dosierstufen von 20 kg Flüssigfutter und mehr Variationskoeffizienten und Dosierfehler überwiegend - mit Ausnahme spezieller Ventilpositionen bei der Anlage A - deutlich unter 5% blieben und daher nicht begrenzend wirkten. Für eine Sollmasse von 20 kg Flüssigfutter bedeutet ein Variationskoeffizient von 5%, dass bei rein zufälliger Variation und im Mittel richtiger Dosierung 95 von 100 zugeteilten Portionen im Bereich von etwa 20 ± 2 kg liegen.

Bei der in einem Versuch mit der Anlage A vorgegebenen Dosierstufe von 5 kg lagen die Variationskoeffizienten an allen Ventilen unabhängig vom gewählten Rührwerk deutlich über 10% (Tabelle 4.3). Die Präzision der Versuchsanlagen reichte also für diese niedrige Dosierstufe nicht aus, um einem Dosierfehler von 5% nahe zukommen. Dies steht im Einklang mit früheren Untersuchungen von HEEGE UND BECK (1986) und SCHWARZ (1989 a). Wollte man diesen Wert von 5% als Zielgröße fordern, müssten technische Maßnahmen ergriffen werden, um die Arbeitsgenauigkeit der Anlage zu steigern, so dass die Futterportionen in einem weit engeren Bereich schwanken, als dies hier mit beiden Anlagen möglich war. Aus der Sicht der Tierernährung ist jedoch eine solch hohe Präzision nicht unbedingt erforderlich, solange das Kompensationsvermögen der Tiere für ein schwankendes Futterangebot von Mahlzeit zu Mahlzeit nicht ausgeschöpft wird. Portionen von 5 kg Flüssigfutter bei einer Fütterungsfrequenz von zweimal täglich entsprechen etwa dem Futterbedarf einer niedertragenden Zuchtsau. Geht man davon aus, dass zufällige Schwankungen von $\pm 20\%$ von Mahlzeit zu Mahlzeit im Bereich liegen, der von den Tieren ohne Nachteil kompensiert werden kann, ergibt sich ein tolerierbarer Variationskoeffizient von etwa 10%. Die in Tabelle 4.3 wiedergegebenen VK- und DF-Werte erreichen nicht dieses Niveau. Dementsprechend wären für diese niedrige Dosierstufe über die

Beseitigung systematischer Fehldosierungen hinaus technische Maßnahmen angezeigt, um eine Dosierung von 5 kg Flüssigfutter mit einer höheren Richtigkeit (Treffsicherheit) zu gewährleisten. Die Wiegeelemente unter den Mischbehältern hatten in diesem Versuch mit einer Auflösung von 100 g eine ausreichend hohe Empfindlichkeit.

Bei der Prüfung der quantitativen Dosiergenauigkeit der Versuchsanlagen traten auch systematische Fehler zu Tage. Bei der Ausdosierung von 25 und 5 kg Flüssigfutter durch die Anlage A kam es unabhängig vom Rührwerk am ersten Ventil (Nr. 0), teilweise auch am folgenden (Nr. 1), zu einer erheblichen Überdosierung (Tabelle 4.2 und 4.3) und am Ventil Nr. 12 (erste Position in der zweiten Ventilsequenz) zu einer Unterdosierung. In einer weiteren Versuchsserie, in der Dosierstufen von 20, 40 und 60 kg gewählt wurden, zeigten sich bei der gleichen Anlage systematische sequentielle Schwankungen mit abwechselnder Über- und Unterdosierung (Tabelle 4.6 und 4.7). Für diese Dosierfehler können weder Rührwerk noch die Ventile selbst die primäre Ursache sein, da sie unabhängig von Rührwerk auftraten. Beim Anschluss der Anlage B (Behälter inklusive Rührwerk und Steuerungssystem) an den gleichen Ventilpositionen traten keine gleichgerichteten Sollwertdifferenzen auf. Deutliche Sollwertdifferenzen, die zu höheren Dosierfehlern führten, wurden aber auch bei der Anlage B beobachtet, vor allem bei den Dosierstufen von 40 und 60 kg (Tabelle 4.5). Auffällig war, dass Ventilpositionen mit Dosierfehlern von über 5% bevorzugt in bestimmten Streckenabschnitten auftraten.

Maßgeblichen Einfluss auf die quantitative Dosiergenauigkeit nehmen vor allem systembedingte Störfaktoren auf die Waagensignale und auf die Druck- und Strömungsverhältnisse im Verteilsystem sowie regelungstechnische Korrekturmöglichkeiten der Anlagensteuerung. Mit steigender Elastizität des Flüssigfutters aufgrund von Lufteinschluss oder mikrobieller Gasbildung treten verstärkt Schwankungen im Masseninhalt des Leitungssystems auf, wodurch die Zuteilgenauigkeit an den Ventilen beeinträchtigt wird. Die Ringleitung hatte ein Fassungsvermögen von 567 Liter. Futter, das den Wiegemischbehälter verlassen hat, wird als zugeteilt registriert. Die am ersten Ventil beobachtete erhebliche Überdosierung steht im Einklang mit früheren Beobachtungen (HEEGE UND BECK 1986; BOXBERGER 1987) und wird auf Futterkompression zurückgeführt. Die Anlage B hatte gegenüber der Anlage A durch die Ausstattung mit einem Prozessrechner erweiterte Möglichkeiten der Anlagensteuerung (automatische Nachlaufkorrektur). Bei der Anlage A waren je nach Auflösungsvermögen der am Wiegemischbehälter installierten Biegemaßstäbe (0,1 bis 1 kg) die Korrekturmöglichkeiten durch die Menüsteuerung begrenzt.

Bei einer niedrigen Dosierstufe von 5 kg Flüssigfutter überstiegen Variationskoeffizienten und Dosierfehler als Merkmale der quantitativen Dosiergenauigkeit Werte von 10% der Sollmasse. Bei Sollmassen von 20 kg und höher war die Dosiergenauigkeit der Versuchsanlagen ausreichend präzise, um Dosierfehler von maximal 5% zu ermöglichen. Es traten jedoch teilweise erhebliche systematische Sollwertdifferenzen zu Tage, die vornehmlich schwankende Druck- und Strömungsverhältnisse im Verteilsystem und Schwächen in der Regelungstechnik reflektieren dürften.

5.5 Qualitative Dosiergenauigkeit

Für eine leistungsgerechte Nährstoffversorgung der Tiere ist neben der Größe der zugeteilten Futterportionen auch deren Zusammensetzung wichtig. Die qualitative Dosiergenauigkeit einer Flüssigfütterungsanlage ist um so höher, je geringer zufällig bedingte und gerichtete Abweichungen im Nährstoffprofil der Futterportionen von Ventil zu Ventil sind. Als mögliche Ursachen für variierende Nährstoffkonzentrationen in den zugeteilten Futterportionen kommen in Frage:

1. Anlagenbezogene Fehlerquellen aufgrund inhomogener Verteilungen der Futterpartikel im Mischbehälter und Entmischungsprozesse entlang der Verteilstrecke (Ringleitung) und
2. mit dem Prüfverfahren verbundene Fehler der Probenentnahme, -aufbereitung und -analyse.

Anlagenbedingte Abweichungen in der qualitativen Dosiergenauigkeit lassen sich nur insoweit nachweisen, wie sie Probennahmefehler (hier im erweiterten Sinne inklusive Fehler in der Probenaufbereitung und -analyse) deutlich übersteigen. Insgesamt wurde in den verschiedenen Versuchen an der Pilotanlage bei Variation von Anlage, Rührwerk, Ventilen, Dosierstufen und Futtermischungen eine relativ hohe Präzision der Prüfmethodik erzielt, so dass sich für verschiedene Rohnährstoffe und Mineralstoffe deutliche Konzentrationsunterschiede zwischen Behälter und ausdosierten Futterportionen an den Ventilen sowie auch Unterschiede zwischen Ventilen varianzanalytisch absichern ließen (siehe Anhangstabellen 8.24 bis 8.29).

Flüssigfutterportionen, die je nach Versuch an 10 oder 9 ausgewählten Ventilen ausdosiert wurden, zeigten in ihrem Nährstoffprofil im Durchschnitt aller Ventile überwiegend eine enge Übereinstimmung mit dem Profil im Mischbehälter (siehe

Tabelle 4.8 bis 4.23). Soweit deutliche Abweichungen auftraten, sind sie bei teilweise sehr geringer Irrtumswahrscheinlichkeit ($P < 0,01$) als Indiz für inhomogene Verteilungen der Nährstoffe zu werten, die trotz Rühren und Umpumpen im Flüssigfutter vorhanden waren. Wie bereits unter 5.3 diskutiert, ließen sich im Mischbehälter in einigen Versuchsserien deutliche Nährstoffgradienten nachweisen, die vor allem Calcium und Zink betrafen. Diese Fälle lassen auf vorhandene Inhomogenitäten in der Verteilung der Futterpartikel schließen. In den Tabellen 5.5 und 5.6 sind zu den zwei Versuchen Korrelationskoeffizienten ausgewiesen, die durch lineare Regression der Nährstoffkonzentrationen an die Rangfolge der Ventile ermittelt wurden. Diese Tabellen zeigen, dass sich in allen Versuchsserien an einzelnen Ventilen für unterschiedliche Nährstoffe die Konzentrationen im Futter entweder deutlich erhöhten (positiver Koeffizient) oder verminderten (negativer Koeffizient).

Bei der Bewertung von abweichenden Nährstoffkonzentrationen zwischen Behälter und dosierten Futterportionen einerseits sowie zwischen Ventilpositionen andererseits ist zu berücksichtigen, dass je nach Dosierstufe unterschiedliche Anteile der Gesamtmasse ausdosiert wurden. Bei Zuteilungen im Bereich von 5 kg an 10 Ventilen und von 60 kg an 9 Ventilen aus einer Gesamtmasse von 1333 kg Flüssigfutter kamen Anteile von unter 4% bis über 40% zur Ausdosierung. Es ist ferner zu bedenken, dass Futter, das den Behälter im Bodenbereich verließ, das erste Ventil erst nach einer Vorlaufstrecke von etwa 120 m erreichte. Die Leitung zwischen Pumpe und erstem Ventil hatte einen Rauminhalt von über 300 Litern.

Aus der Perspektive der Tierernährung sind abweichende Nährstoffkonzentrationen in den zugeteilten Futterportionen dann kritischer zu bewerten, wenn diese systematischer Art sind, das heißt dass sie an den gleichen Ventilpositionen wiederholt und gleichgerichtet auftreten. Zufällige Schwankungen, die sich von Mahlzeit zu Mahlzeit in etwa negieren, können von den Tieren im Rahmen ihres physiologischen Kompensationsvermögens ausgeglichen werden. Verschärft würde jedoch die Situation, läge gleichzeitig eine erhebliche quantitative Unterdosierung vor. Die hier in den Versuchen beobachteten Schwankungsbereiche in den Rohnährstoff- und Mineralstoffkonzentrationen (Tabellen 4.8 bis 4.23) dürften sich mit dem Kompensationsvermögen der Tiere vereinbaren lassen, vor allem wenn sie in ihrer Verteilung nicht am gleichen Ventil in gleiche Richtung auftreten. Die in den Tabellen 5.5 und 5.6 dargelegten Korrelationskoeffizienten weisen jedoch daraufhin, dass in einigen Fällen gerichtete Konzentrationsverschiebungen entlang der Dosierstrecke auftraten. Dies war bei den Mineralstoffen häufiger der Fall als beim Rohprotein.

Tabelle 5.5: Korrelation zwischen Nährstoffkonzentration und Rangfolge der zehn Ventile in der Ausdosierung bei der Anlage A

Rührwerk	Kreuzbalken		Propellerkranz	
Sollmasse (kg)	5	25	5	25
Nährstoff:	Korrelationskoeffizient (r) und Signifikanz¹⁾			
TM (%)	-0,54	-0,66*	-0, 71 *	-0,12
RA (% d. TM)	-0,33	-0,69*	0,30	-0,74
RP (% d. TM)	-0,18	0,22	-0,10	-0,67*
Ca (g/kg TM)	0,28	-0,62	-0,78-	-0,62(*)
P (g/kg TM)	0,36	0,47	-0,08	-0,88***
Cu (mg/kg TM)	-0,09	-0,19	-0,32	0,78
Zn (mg/kg TM)	0,53	-0,20	-0,74*	0,25

¹⁾ r (n = 10); Signifikanz: ohne Symbol, NS (P > 0,10); (*), P < 0,10; *, P < 0,05; **, P < 0,01; ***, P < 0,001

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass sich eine Unterschreitung von Sollwerten erst dann auf Leistungsmerkmale der Tiere nachhaltig auswirkt, wenn die Nährstoffversorgung den physiologischen Bedarf der Tiere unterschreitet. PETERSEN wies 1981 nach, dass Mastschweine Über- und Unterversorgungen innerhalb weniger Tage auszugleichen vermögen, sofern die gefütterte Gesamtmenge dem angestrebten Versorgungsniveau entspricht. Trotz täglicher Schwankungen von bis zu maximal 25% konnten keine negativen Einflüsse auf die Mast- und Schlachtleistung festgestellt werden.

Tabelle 5.6: Korrelation zwischen Nährstoffkonzentration und Rangfolge in der Ausdosierung an 9 Ventilen durch Anlage B und A

Anlage	B			A		
Sollmasse(kg)	20	40	60	20	40	60
Nährstoff	Korrelationskoeffizient (r) und Signifikanz ¹⁾					
TM (%)	-0,26	0,23	0,68*	-0,42	0,86	-0,27
RA (% d. TM)	-0,94	0,57	0,41	0,38	0,52	-0,75
RP (% d. TM)	0,32	-0,26	-0,19	0,56	-0,89	-0,84
Ca (g/kg TM)	-0,92***	-	-	0,37	-	-
P (g/kg TM)	-0,15	-	-	0,21	-	-
Cu(mg/kg TM)	0,41	-	-	0,51	-	-
Zn(mg/kg TM)	-0,50	-	-	-0,20	-	-

¹⁾ r (n = 10); Signifikanz: ohne Symbol, NS (P > 0,10); (*), P < 0,10; *, P < 0,05; **, P < 0,01; ***, P < 0,001

Für den Rohproteingehalt wurden Variationskoeffizienten von höchstens etwa 3% beobachtet. Dies bedeutet, dass mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% der mittlere Rohproteingehalt im ausdosierten Flüssigfutter um nicht mehr als 6% (relativ) unterschritten wurde. Geht man davon aus, dass Angaben zur Proteinversorgung Zufuhrempfehlungen darstellen, die gegenüber dem experimentell ermittelten Bedarf einen Sicherheitszuschlag enthalten, um auch bei überdurchschnittlichen Leistungen eine sichere Bedarfsdeckung zu gewährleisten, ist nicht zu erwarten, dass bei einer Unterschreitung des angestrebten Proteingehaltes um das Zweifache des höchsten hier beobachteten Variationskoeffizienten von 3% Leistungseinbußen auftreten. Aspekte der Proteinqualität bleiben hiervon unberührt. Futtermittelrechtlich liegt der Analysenspielraum für Rohproteingehalte im praxisrelevanten Bereich für Mischfutter bei 2,5% (relativ) (BASSLER et al. 1987) und die Gesamttoleranz nach §15 der Futtermittelverordnung (RADWAHN UND CZEKALA 2008) bei 10% (relativ) unterschreiten. Insofern kann für die beobachtete Variation der Rohproteinkonzentrationen in den ausdosierten Flüssigfutterportionen festgestellt werden, dass eine ausreichend hohe qualitative Dosiergenauigkeit der Versuchsanlagen vorlag. Diese Schlussfolgerung lässt sich im wesentlichen auch für die untersuchten Mineralstoffe ziehen. Grundsätzlich ist jedoch hier mit größeren relativen Variationen zu rechnen,

wie die Ergebnisse bestätigen (Tabellen 4.13, 4.14, und 4.22). Auffällig war die Ca-Konzentration in der Ausdosierung der 5-kg-Sollmasse (Tabelle 4.13) mit einer relativen Abweichung von mehr als 10% (unterschreitend). Der Sollwert, die mittlere Ca-Konzentration im Mischbehälter, wurde in diesem Versuchsteil an einem Ventil (Ventil-Nr. 1) maximal um fast 20% unterschritten. Diese Abweichung würde dann besondere Aufmerksamkeit verdienen, wenn sie nachweislich und systematisch immer am gleichen Ventil aufträte. Hierfür gibt es jedoch nach den Daten der verschiedenen Dosierversuche kein eindeutiges Indiz. Mit der Auswahl der Dosierventile wurden verschiedene Streckenabschnitte inklusive Anfangs- und Endpositionen in der Ringleitung berücksichtigt.

Bei den Spurenelementen schwankten die in den ausdosierten Futterportionen gefundenen Konzentrationen (Tabellen 4.14, 4.15 und 4.23) insgesamt in Bereichen, in denen eine Beeinträchtigung der Leistung und Gesundheit von Mastschweinen oder Zuchtsauen unwahrscheinlich ist. Durch sehr hohe Spurenelementgehalte in den Mineralfuttermitteln wurden im Flüssigfutter Konzentrationen erreicht, die Versorgungsempfehlungen für Mastschweine oder Zuchtsauen (GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE 2006) erheblich übersteigen. Würde ein Mineralfutter mit niedrigerem Spurenelementgehalt eingesetzt, das im Flüssigfutter eine Versorgung nach den Zufuhrempfehlungen sicherstellt, wäre unter Berücksichtigung der Spurenelementverteilung auf die einzelnen Futterkomponenten (Vergleiche Tabelle 5.1) nicht zu erwarten, dass nach den Ergebnissen der vorliegenden Dosierversuche im Flüssigfutter Konzentrationen erreicht werden, die sich leistungsbegrenzend auswirken könnten.

Durch eine relativ hohe Präzision der entwickelten Prüfmethode ließen sich in den verschiedenen Dosierversuchen bei variiertem Anlagentechnik und Futtermischung im Nährstoffprofil der Flüssigfutterportionen deutliche Konzentrationsunterschiede nachweisen. Teilweise zeichneten sich gerichtete Konzentrationsverschiebungen an ausgewählten Ventilen entlang der Dosierstrecke ab. Dennoch lassen die beobachteten Schwankungsbereiche in den Konzentrationen der analysierten Rohnährstoffe und Mineralstoffe aus der Perspektive der Tierernährung die Schlussfolgerung zu, dass die Versuchsanlagen eine ausreichende qualitative Dosiergenauigkeit aufwiesen.

6 Zusammenfassungen

6.1 Zusammenfassung

Die Flüssigfütterung hat als teil- bis vollautomatisiertes Fütterungsverfahren in der praktischen Schweinemast neben der Breifütterung und den Trockenfutterautomaten eine weite Verbreitung gefunden.

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, unter Einsatz geeigneter Probenahmeverfahren, die Arbeitsqualität von Flüssigfütterungsanlagen hinsichtlich Mischgüte und Dosiergenauigkeit nährstoffanalytisch zu bewerten.

In den einzelnen Untersuchungen wurden verschiedene Flüssigfutterrezepturen eingesetzt, die sich in der Getreidekomponente (Gerste oder Gerste/Weizen) unterschieden. Die Nährstoffanalytik umfasste neben Trockenmasse und Rohasche auch Rohprotein und ausgewählte Mineralstoffe (Calcium, Phosphor, Kupfer und Zink).

Für die Misch- und Dosierversuche standen am Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität zwei Flüssigfütterungsanlagen zur Verfügung, die abwechselnd an ein fest installiertes Rohrleitungssystem angeschlossen werden konnten.

Die quantitative Dosiergenauigkeit wurde durch Wägung der an ausgewählten Ventilen der Ringleitung ausdosierten Portionen für einen Bereich von 5 bis 60 kg geprüft. Prüfmerkmale für diese quantitative Dosiergenauigkeit der Versuchsanlagen waren mittlere Sollwertdifferenz, Variationskoeffizient und Dosierfehler. Diese Merkmale variierten deutlich in Abhängigkeit von der Wahl der Versuchsanlage, des Rührwerks, der Dosierstufe und der Ventilposition im Verteilsystem. Bei der Ausdosierung von 5 kg lagen die Variationskoeffizienten zum Teil über 10%. Bei höheren Dosierstufen (20 kg und mehr) wurden mit Ausnahme systematischer Über- und Unterdosierungen an speziellen Ventilpositionen Variationskoeffizienten und Dosierfehler von unter 5% erreicht.

Zur Prüfung der qualitativen Dosiergenauigkeit wurden sowohl im Mischbehälter als auch von den ausdosierten Portionen Proben gezogen. Für die Probenentnahme aus dem Wiegemischbehälter von Flüssigfütterungsanlagen wurde ein wasserdichter Probenmessstab mit fünf verschließbaren Probenkammern entwickelt und geprüft. Dieser Stab ermöglicht nach Abschalten des Rührwerks eine Entnahme von getrennten Proben über den gesamten Bereich der Futtersäule. Mit seinem Einsatz ließen sich systematische Abweichungen in der Nährstoffverteilung (Rohnährstoffe, Mineralstoffe) vom Bodenbereich bis zur Oberflächenschicht mit ausreichend hoher Präzision nachweisen.

Für die Entnahme von repräsentativen Proben aus den zugeteilten Flüssigfutterportionen wurden vier Probenahmeverfahren verglichen:

1. Becherhandentnahme (Schöpfmethode)
2. Entnahme mit einem speziell entwickelten kurzen Probenmessstab
3. Radprobenteiler, der Flüssigfutter während der Ausdosierung aus dem fließenden Futterstrom auffangen soll
4. Laborprobenteiler, der Flüssigfutter in vergleichbare Teilmengen aufteilen soll

Die Handentnahmeverfahren und der kurze Probenmessstab erwiesen sich als geeignete Verfahren. Demgegenüber erwiesen sich Radprobenteiler und Laborprobenteiler als ungeeignet für die Probenahme von Flüssigfutter.

Um im Anmischbehälter eine ausreichend homogene Verteilung der Nährstoffe, insbesondere der Mineralstoffe, zu erzielen, war es zusätzlich zum laufenden Rührwerk unerlässlich, über eine spezielle Bypassleitung das Flüssigfutter umzupumpen. Kurz nach dem Anmischen des Flüssigfutters noch nachweisbare Unterschiede im Trockenmassegehalt von Proben aus Boden- und Oberflächenschichten im Mischbehälter gingen nach mehrstündiger Standzeit und erneutem Mischvorgang deutlich zurück. Untersuchungen der Mischstabilität von Flüssigfutter mit unterschiedlichem Futter-Wasser-Verhältniss von 1:2,8 bis 1:3,2 ergaben, dass innerhalb von wenigen Minuten nach Unterbrechung des Mischvorganges nicht mit erheblichen Entmischungen zu rechnen ist.

Die Prüfung der qualitativen Dosiergenauigkeit der Versuchsanlagen zeigte in den verschiedenen Dosierversuchen bei variierter Anlagentechnik und Futterrezeptur für verschiedene Nährstoffe systematische Konzentrationsverschiebungen entlang der Dosierstrecke, vor allem bei Calcium und Zink.

Insgesamt lassen die beobachteten Schwankungsbereiche der untersuchten Rohnährstoffe und Mineralstoffe in den ausdosierten Futterportionen aus der Perspektive der Tierernährung die Schlussfolgerung zu, dass die Versuchsanlagen eine ausreichend hohe qualitative Dosiergenauigkeit aufwiesen, um im Rahmen des physiologischen Kompensationsvermögens der Tiere eine leistungsgerechte Nährstoffversorgung sicherzustellen. Systematische Über- oder Underdosierungen, wie sie in den Versuchen auftraten, erfordern anlagentechnische Korrekturmaßnahmen.

6.2 Englische Zusammenfassung (Summary)

Quantitative and Qualitative Dosification Accuracy of Computer-controlled Liquid Feeding Systems for Growing Pigs

Liquid feeding as a partially or fully automated technique has found a widespread application in the feeding of growing-finishing pigs in addition to the use of dry and gruel feeders.

The main goal of this dissertation was to evaluate the performance of liquid feeders with respect to the accuracy and precision of mixing and dosing the feed blend.

The feed formulae used for a series of different studies were based on grain (barley or barley plus wheat). Nutrient analyses included dry matter, crude ash, crude protein, and selected minerals (calcium, phosphorus, copper and zinc).

For studying the quality of the mixing and dosing process, two different liquid feeding units, which could be alternately connected to a stationary 250 m pipeline with 24 dosing valves, were installed at the Institute of Agricultural Engineering of the University.

The accuracy and precision of dosing the liquid feed blends was assessed over the range of 5 to 60 kg by weighing the feed portions collected at selected valves of the pipeline and by taking samples for nutrient analysis. Test criteria were coefficient of variation, deviation from the set dosage and dosing error (sum of the two former measures). These criteria were significantly affected by the feeder system, the type of stirrer in the mixing tank, and the valve position in the feed pipe.

The qualitative dosing quality (nutrient distribution) was tested by drawing feed samples both from the weighing-mixing tank and from the feed portions at selected valve positions. For taking samples of the liquid blend from the mixing tank, a waterproof, stainless-steel sampling rod divided into five separate chambers was developed and tested. This sampling device made it possible to take samples simultaneously over the full vertical feed column in the mixing tank immediately after the stirrer had been turned off. Thus, systematic differences in the distribution of nutrients (crude nutrients and minerals) could be detected from the bottom to the top layer of the liquid feed in the mixing tank with a sufficiently high precision.

For analysing the nutrient composition of the liquid feed portions delivered by the valves, four different methods of sampling were compared:

1. Manual sampling with a square container (scooping method)
2. Sampling with a short one-chamber sampling rod

3. Wheel-mounted containers passing through the feed stream during the dosing process
4. Laboratory sampler designed to divide fluid media into equal aliquots

Among these four methods, only the manual scooping and the short sampling rod proved to be suitable procedures.

In order to obtain a sufficiently uniform nutrient distribution in the mixing tank, it was necessary to circulate the liquid feed during the mixing step via a special by-pass pipe in support of the stirrer rotation. Differences found in the dry matter content between the top and bottom layers of the mixing tank shortly after mixing markedly diminished after several hours of repeating the mixing process. Variation in the feed to water ratio of 1:2.8 versus 1:3.2 did not indicate that there was a major difference in nutrient separation after stirring was stopped.

Analyses of feed samples taken at selected valve sites showed that the technical equipment of the feeder system, valve position, and feed composition may systematically affect concentration of nutrients in the allocated feed portions, especially concerning calcium and zinc.

Overall, it can be concluded that the observed deviations in nutrient concentration in the dosed feed portions stayed, for the most part, within the limits of the physiological ability of the animals to compensate fluctuations in nutrient supply.

7 Literaturverzeichnis

- ALBERS N. (1989): Zur Eignung von Futtermitteln und Zusatzstoffen für die Flüssigfütterung. Mühle + Mischfüttertechnik 126, 676-680
- BASSLER R.; RANFFT K.; SEIBOLD R. (1981): Spielräume - Toleranzen. Kraftfutter 6/81, 288-294
- BASSLER R.; RANFFT K.; SEIBOLD R. (1987): Analysenspielräume bei der Untersuchung von Futtermitteln. Kraftfutter 3/87, 84-86
- BECK J. (1986 a): Genauigkeit vollautomatischer Flüssigfütterungsanlagen: Anmischvorgang. DGS 24/1986, 720-723
- BECK J. (1986 b): Genauigkeit vollautomatischer Flüssigfütterungsanlagen: Zuteilvorgang. DGS 25/1986, 751-755
- BECK J. (1989 a): Dosiergenauigkeit vollautomatischer Flüssigfütterungsanlagen. AID Informationen 36, #3956
- BECK J. (1989 b): Dosiergenauigkeit vollautomatischer Flüssigfütterungsanlagen. Diss. agr. CAU Kiel
- BOHNENKEMPER O. (1993 a): Anpassung der Inhaltsstoffe mit RAM-Futter. Kraftfutter 3/93, 82-86
- BOHNENKEMPER O. (1993 b): Verringerung der Nährstoffausscheidung von Mastschweinen: Anpassung der Futtermischung. DGS 1/1993, 13-15
- BOXBERGER J. (1981 a): Flüssigfütterung: Von der Aufbereitung bis zur Computersteuerung. DLG-Mitteilungen 12/1981, 54-56
- BOXBERGER J. (1981 b): Flüssigfütterungsanlagen für Mastschweine. Landtechnik 7/8, 329-332
- BOXBERGER J. (1985): Anforderungen an Flüssigfütterungssysteme. dlz 6/85, 1008-1011
- BOXBERGER J. (1987): Anforderungen an Flüssigfütterungsanlagen. Lohmann Information März/April 1987
- BOXBERGER J. (1990): Technik und Hygiene bei der Flüssigfütterung. DGS 10/1990, 290-293
- BOXBERGER J.; SCHÜBEL F.; LANGENEGGER G. (1983): Wie genau dosieren Flüssigfütterungsanlagen mit automatischer Zuteilung? top agrar 3/83, S31-S33
- BUCHHOLZ H.; KIRMAS J.; Lengerken J. von (1996): Analysenspielräume und Toleranzen. Kraftfutter 1/96, 19-25
- BURGSTALLER G. (1991): Schweinefütterung. In: Handbuch Schweineproduktion. 3. Auflage Schmitten, F. Burgstaller, G., Hammer, K., Matzke, P., Mittrach, B., Schmid, W., DLG Verlag Frankfurt, S. 195 – 200.
- DOERFFEL, K. (1987): Statistik in der analytischen Chemie, Verl. Chemie, Weinheim, 4. durchgesehene Auflage

- DROCHNER W. (1987): Probleme der Mineralstoffversorgung in der Flüssigfütterungstechnik. Fachverband der Futtermittelindustrie, Informationsdienst Futter und Fütterung 247, Bonn
- DROCHNER W.; WERNER J.; STEFFENS W.; BÖHM K.H. (1984): Misch- und Hygieneprobleme in Flüssigfütterungsanlagen für Schweine. Kraftfutter 11/84, 392-396
- ESSL, A.(1987): Statistische Methoden in der Tierproduktion, Österr. Agrarverlag, Wien
- GERS-GRAPPENHAUS, C. (1993): Fütterungstechnik in der Schweinemast: Flüssig oder trocken? Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 8, 34-39
- GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE, AUSSCHUSS FÜR BEARFERNORMEN (2006): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen, Frankfurt, DLG-Verlag
- HARTMANN E. (1985): Qualität in der Analytik. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 180, 87-95
- HAUTER U. (1994): Retention von Zink und weiteren Mineralstoffen bei Masthähnchen unter dem Einfluß abgestufter Zinkzulagen und mikrobieller Phytase im Futter, Giessen, Univ., Agrarwiss. Diss.
- HEEGE H.J.; BECK J. (1986): Entwicklungen und Probleme in der Fütterungstechnik für Mastschweine. Landtechnik 41, 230-233
- HÜGLE T. (1993): Der Prozessrechner bei Flüssigfütterungsanlagen nicht überbelasten. dlz 8, 95-99
- HOY S.: (2005): Trends in der Mastschweinehaltung – wohin geht die Reise?, Nutztierpraxis aktuell, 50 -54
- KAISER R.E., MÜHLBAUER, J.A.(1983): elementare Tests zur Beurteilung von Messdaten. Soforthilfe für Statistische Tests mit wenigen Messdaten, Bibliographisches Institut Brockhaus
- KIRCHGESSNER ET AL. (2008): Tierernährung, Verlagsunion Agrar 12. Auflage.
- KÖHLER W., SCHACHTEL G., VOLEKSE P. (1984): Biometrie- Einführung in die Statistik für Biologen und Agrarwissenschaftler, Springer-Verlag, Berlin
- KOWALEWSKY H.-H. (1993 a): Darauf kommt es bei der Fütterung an. Landwirtschaftliches Wochenblatt Weser-Ems, 50/1993, 30-31
- KOWALEWSKY H.-H. (1993 b): Techniken zur nährstoffangepaßten Fütterung. LWB WE 50/1993, 32-34
- NIEDERPRÜM, R. (1991): Fütterungstechnik für Mastschweine. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 7, 14-18
- PETERSEN U. (1981): Exakte Futterdosierung in der Schweinemast - eine Notwendigkeit? Landtechnik 31, 85-86

- PFEFFER E. (1992): Umweltbelastung durch Tierhaltung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung - Ernährungsphysiologische Aspekte. Züchtungskunde 64, 254-261
- RADWEWAHN E.; CZEKALA A. (2008): Futtermitteltechnische Vorschriften. Ausgabe 2008. AgriMedia GmbH, Clenze
- RATSCHOW J.-P. (1991): Neue technische Verfahren in der Fütterung von Mastschweinen unter Berücksichtigung einer leistungsangepaßten Futterversorgung. Vortrag 62. Tagung des AK der Futterberater für die Länder Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland am 25.10.1991 in Kaiserslautern.
- RATSCHOW J.-P. (1992): Mehrphasenfütterung von Mastschweinen: Das sollte Ihre Flüssigfütterungsanlage können! DGS 10/1992, 296-299
- RATSCHOW J.-P. (1993): Flüssigfütterungsanlagen haben sich bewährt. Wie Flüssigfütterungsanlagen für Schweine funktionieren. dlz 1/93, 67-73
- SCHOLTYSIK B. J. (1982): Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Genauigkeit von Zellraddosierungen für Kraftfuttermittel. Grundlagen der Landtechnik, Nr. 1, S. 1-8.
- SCHWARZ H.-P. (1989 a): Wachstumsangepaßte Fütterung von Mastschweinen unter Verwendung einer vollautomatischen, computergesteuerten Flüssigfütterungsanlage. Diss agr. JLU Gießen
- SCHWARZ H.-P. (1989 b): Zur Dosiergenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen. Landtechnik 44, 193-195
- SCHWARZ H.-P.; KLEMENT G. (1993): Fütterung von Mastschweinen. Landtechnik 48, 78
- SCHWARZ H.-P.; SEUFERT H. (2001): Auswirkungen politischer Rahmenbedingungen auf die Schweinehaltung mit Spaltenböden. Bauen für die Landwirtschaft 3/2001
- SEIFERT, H. J. (1990): Moderne Flüssigfütterungssysteme - was zu beachten ist. Agrartechnik 9, 396-398
- SOMMER W.; ZÄHRES W., (1987): Flüssigfütterung von Mastschweinen. AID, Bonn
- SPIEKERS H. (1993 a): Weniger Eiweiß, mehr Aminosäuren in die Mischung? SUS 1/93, 14ff.
- SPIEKERS H. (1993 b): Phasenfütterung: Umwelt-, Kosten- und Gesundheitsaspekte sprechen dafür. SUS 3, 50-53
- SPIEKERS H., BRINKER, S. (1992): Phasenfütterung, aber richtig! top agrar 11/92, S14-S17
- SWOBODA, M. (1987): Flüssigfütterung. Landtechnische Schriftenreihe. Österreich.

VDLUFA – VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (1988): Methodenbuch Band 3. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

8 Tabellenanhang

Tabelle 8.1: Handentnahme - Rechtecktonne

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Mischung
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	
1	21,66	21,73	6,09	8,79	7,81	32,7	185	1
2	21,50	22,41	5,87	8,65	7,58	31,7	178	1
3	21,51	21,65	5,58	7,17	7,50	32,9	175	1
4	21,96	21,82	5,92	8,51	7,77	33,8	175	1
5	22,02	22,07	5,74	8,26	7,52	31,9	175	1
6	21,65	22,29	6,03	8,72	7,75	32,5	184	1
13	21,58	21,69	6,06	8,51	7,73	31,0	193	2
14	21,35	22,06	5,93	8,24	7,76	32,4	180	2
15	21,70	22,39	6,18	8,90	7,76	30,5	192	2
16	21,43	22,41	6,08	8,87	7,84	31,2	189	2
17	21,48	22,11	6,18	9,03	7,90	31,0	199	2
18	22,35	22,47	6,03	8,23	7,68	31,0	178	2
25	21,56	21,68	5,92	7,88	7,83	31,1	186	3
26	21,62	22,59	6,18	8,82	7,95	33,4	198	3
27	20,98	22,11	6,07	8,26	8,02	32,6	178	3
28	21,72	22,27	6,08	8,89	7,76	32,4	185	3
29	21,83	22,55	6,05	8,09	7,81	31,9	187	3
30	21,86	22,06	5,77	8,13	7,64	31,4	175	3
Mittelwert	21,65	22,10	5,99	8,44	7,76	32,0	184	
Sollwert	22,33	21,08	5,42	8,43	7,41	27,0	165	
ANOVA								
Mischung	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	FG = 2
Restfehler	0,095	0,086	0,022	0,221	0,015	0,560	49,48	FG = 15
Levene¹	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

¹ Test auf Varianzhomogenität

Tabelle 8.2: Handentnahme - Rundtonne

Probe-Nr.	TM	RA	RP	Ca	P	Cu	Zn	Mischung
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	
291	21,73	5,42	20,96	7,74	7,45	29,9	193	1
292	22,00	5,73	20,92	8,05	7,49	30,2	196	1
293	21,75	5,19	21,14	7,35	7,42	30,3	187	1
294	22,13	5,50	20,99	7,71	7,38	28,1	197	1
295	21,65	5,69	21,00	8,02	7,40	30,4	199	1
296	22,09	5,65	20,71	8,25	7,38	27,7	195	1
297	21,79	5,48	21,01	8,03	7,44	28,8	195	2
298	22,20	5,76	20,98	8,00	7,42	28,8	196	2
299	21,95	5,22	20,86	7,86	7,51	28,4	197	2
300	22,15	5,55	20,94	7,76	7,31	29,0	197	2
301	22,21	5,72	20,69	8,12	7,40	30,5	206	2
302	22,13	5,85	20,74	7,93	7,32	29,6	189	2
303	21,88	5,90	20,93	7,92	7,38	28,8	195	3
304	22,15	5,54	21,19	7,51	7,33	28,7	189	3
305	21,70	5,86	21,06	7,71	7,41	30,2	185	3
306	21,54	5,74	20,87	7,40	7,44	29,1	185	3
307	21,93	5,75	20,77	8,23	7,48	27,6	191	3
308	21,51	5,53	20,78	7,33	7,46	29,8	183	3
309	21,95	5,64	20,94	7,61	7,36	30,6	187	4
310	21,69	5,43	21,46		7,46	27,6	191	4
311	22,11	5,98	20,66	8,12	7,29	29,4	193	4
312	21,90	5,88	21,34	8,15	7,33	28,4	215	4
313	21,80	5,91	21,48	7,96	7,39	28,5	196	4
314	22,04	5,73	20,68	7,97	7,25	29,5	182	4
MW	21,92	20,96	5,65	7,86	7,40	29,2	193	
Sollwert	21,73	20,45	5,46	8,38	7,88	26,5	175	
ANOVA								
Mischung	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	FG = 3
Restfehler	0,039	0,040	0,052	0,072	0,004	0,986	50,57	FG = 20
Levene ¹	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

¹ Test auf Varianzhomogenität

Tabelle 8.3: Handentnahme Rundtonne (Einfluss des Probennehmers)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Pr.nehmer
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	Mg/kg TM	
318	21,84	21,09	5,82	8,57	7,75	30,8	200	1
319	21,92	20,91	5,63	8,44	7,76	29,2	205	1
320	22,49	21,07	5,72	8,67	7,65	29,2	209	1
321	21,90	21,27	5,64	8,47	7,74	29,4	197	1
322	22,00	21,42	5,65	8,58	7,73	28,6	203	2
323	22,34	20,63	5,96	8,83	7,64	29,8	202	2
324	21,34	21,88	5,97	8,98	8,07	28,2	218	2
325	22,19	20,98	5,91	8,42	7,67	29,8	200	2
326	21,35	21,70	5,87	9,22	7,96	29,6	208	3
327	22,78	22,16	5,86	8,92	8,16	28,6	208	3
328	22,08	20,88	5,62	8,90	7,71	30,0	197	3
329	21,34	21,55	6,00	8,93	8,04	29,2	200	3
330	20,04	23,20	6,20	9,49	8,58	31,0	211	4
331	22,05	20,90	5,63	8,19	7,64	30,6	181	4
332	21,05	21,91	6,12	9,06	8,02	29,2	205	4
333	20,52	22,59	6,01	8,76	8,27	30,7	210	4
334	21,92	21,22	5,81	8,58	7,67	30,9	183	5
335	20,52	22,12	6,10	9,44	8,19	30,2	207	5
336	22,33	21,28	5,90	8,88	7,60	31,7	194	5
337	19,62	22,22	6,10	9,07	8,29	31,7	204	5
338	21,42	21,76	6,00	9,03	7,93	28,7	198	6
339	21,74	21,39	5,81	9,02	7,86	30,8	212	6
340	22,06	21,26	5,48	8,91	7,75	31,1	207	6
341	21,50	21,18	5,64	8,53	7,84	30,5	201	6
MW	21,60	21,52	5,85	8,83	7,90	30,0	203	
Sollwert	22,11	20,51	5,74	8,30	7,61	28,8	175	
ANOVA								
Prnehmer	ns	ns	ns	ns	ns	*	Ns	FG = 5
Restfehler	0,526	0,320	0,032	0,097	0,061	0,663	81,56	FG = 18
Levene ¹	**	*	ns	ns	**	ns	Ns	

¹ Test auf Varianzhomogenität

Tabelle 8.4: Handentnahme Rundtonne (Einfluss der Probemenge)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Pr.menge
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	Mg/kg TM	Mg/kg TM	
342	22,05	21,15	5,47	8,69	7,59	30,5	193	1
343	22,09	20,95	5,40	8,78	7,79	31,0	203	1
344	21,90	20,93	5,73	8,32	7,59	29,7	200	1
345	21,88	21,04	5,71	8,45	7,61	30,1	195	1
346	21,96	20,79	5,66	8,42	7,72	30,5	202	2
347	21,95	20,78	5,73	8,48	7,68	31,7	198	2
348	22,15	21,00	5,65	8,35	7,64	31,8	204	2
349	22,17	20,72	5,66	8,54	7,67	30,6	203	2
350	21,81	20,96	5,78	8,55	7,72	30,9	201	3
351	22,00	21,05	5,62	8,63	7,72	30,9	196	3
352	21,79	21,27	5,77	8,77	7,88	31,1	206	3
353	21,16	21,56	5,80	8,70	8,03	30,5	204	3
354	21,84	20,87	5,68	8,41	7,76	30,6	188,	4
355	21,85	20,95	5,73	8,65	7,78	30,7	199	4
356	21,74	21,06	5,73	8,52	7,79	31,4	199	4
357	21,94	20,79	5,67	8,88	7,89	31,2	192	4
358	22,17	20,66	5,81	8,78	7,73	32,4	193	5
359	22,11	21,02	5,67	8,81	7,81	30,7	205	5
360	22,11	21,12	5,83	8,91	7,82	30,6	202	5
361	21,72	20,93	5,60	8,45	7,80	32,1	183	5
MW	21,92	20,98	5,69	8,61	7,75	31,0	198	
Sollwert	22,11	20,51	5,74	8,30	7,61	28,8	175	
ANOVA								
Pr.menge	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	FG = 4
Restfehler	0,042	0,030	0,010	0,028	0,008	0,374	34,17	FG = 15
Levene ¹	ns	ns	***	ns	*	***	ns	

¹ Test auf Varianzhomogenität

Tabelle 8.5: Probenmessstab, stehendes Rührwerk (ganzer Stab)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Durchgang
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	
218	22,06	20,98	5,95	8,88	7,61	39,5	221	1
219	22,07	21,55	6,22	9,46	7,80	42,5	239	2
220	22,04	21,01	6,09	9,47	7,73	42,6	223	3
221	22,08	21,19	6,18	9,68	7,84	42,7	234	4
MW	22,06	21,18	6,11	9,37	7,74	41,8	229	
Sollwert	22,13	21,16	5,61	8,14	7,62	39,4	191	

Tabelle 8.6: Probenmessstab, laufendes Rührwerk (ganzer Stab)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Durchgang
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	
214	21,96	21,22	6,31	10,25	7,95	38,2	230	1
215	21,86	21,07	6,28	10,25	7,86	41,6	234	2
216	21,91	21,15	6,07	9,80	7,79	41,1	226	3
217	21,93	21,11	6,29	10,04	7,95	43,7	245	4
MW	21,92	21,14	6,24	10,09	7,89	41,1	234	
Sollwert	22,13	22,16	5,61	8,14	7,62	39,4	191	

Tabelle 8.7: Probenmessstab, stehendes Rührwerk (Kammern, mit Bypass)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Kammer	Dg.
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM		
194	22,16	20,97	5,78	9,23	7,40	45,1	226	1	1
195	22,15	20,70	5,92	9,32	7,55	46,0	241	2	1
196	22,15	21,03	5,85	9,29	7,49	45,8	219	3	1
197	22,01	20,73	5,96	9,23	7,56	44,2	222	4	1
198	21,81	20,88	5,99	9,26	7,53	45,1	229	5	1
199	22,07	20,86	6,04	9,24	7,62	45,1	245	1	2
200	22,13	21,38	5,97	9,10	7,65	44,8	251	2	2
201	22,11	20,94	5,97	9,17	7,58	46,1	242	3	2
202	22,20	20,73	6,06	9,35	7,64	44,8	219	4	2
203	21,85	20,70	6,03	9,82	7,65	45,1	212	5	2
204	22,21	20,82	6,04	9,36	7,51	44,4	218	1	3
205	21,98	20,96	5,87	9,41	7,64	42,7	229	2	3
206	22,03	20,66	5,89	8,92	7,59	43,5	219	3	3
207	22,16	20,80	5,87	8,71	7,61	43,4	229	4	3
208	21,81	20,71	6,03	9,20	7,58	46,2	256	5	3
209	22,26	20,42	5,87	9,00	7,59	45,0	215	1	4
210	22,12	20,39	5,89	9,11	7,63	49,3	223	2	4
211	21,94	20,73	5,92	9,56	7,68	43,7	217	3	4
212	22,09	20,98	5,98	9,51	7,66	44,0	217	4	4
213	21,97	20,60	5,85	9,63	7,57	45,1	227	5	4
MW	22,06	20,80	5,94	9,27	7,59	45,0	228		
Sollwert	22,13	22,16	5,61	8,14	7,62	39,4	191		
ANOVA									
Kammer	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	FG = 4	
Restfehler	0,007	0,058	0,070	0,065	0,004	2,069	166,9	FG = 15	
Levene ¹	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns		

¹ Test auf Varianzhomogenität

Tabelle 8.8: Probenmessstab, laufendes Rührwerk (Kammern, mit Bypass)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Kammer	Dg.
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM		
174	21,02	21,02	6,11	9,12	7,81	47,0	232	1	1
175	22,42	20,48	6,08	9,73	7,60	45,0	229	2	1
176	22,25	20,49	5,99	8,65	7,58	43,7	218	3	1
177	22,00	20,60	6,24	9,44	7,65	44,1	240	4	1
178	22,12	20,44	6,17	10,31	7,66	45,3	231	5	1
179	21,29	20,57	6,09	9,41	7,75	46,6	245	1	2
180	22,10	20,63	6,03	8,79	7,58	44,5	233	2	2
181	22,27	20,94	6,17	9,43	7,75	44,3	235	3	2
182	21,85	21,04	6,14	9,79	7,76	47,4	259	4	2
183	21,77	20,79	6,56	8,90	7,89	45,6	268	5	2
184	21,30	20,93	6,08	9,16	7,82	46,4	251	1	3
185	22,23	20,60	5,86	8,40	7,60	44,9	233	2	2
186	21,98	21,68	6,12	9,11	7,92	45,4	230	3	3
187	22,19	20,81	6,16	9,63	7,94	46,3	244	4	3
188	21,87	20,82	5,94	9,42	7,91	43,7	230	5	3
189	21,43	20,75	6,11	9,15	7,85	48,6	226	1	4
190	22,09	20,71	6,00	10,38	7,79	44,4	224	2	4
191	22,15	21,39	5,74	8,87	7,80	46,2	247	3	4
192	22,10	21,07	6,13	9,52	7,55	44,8	248	4	4
193	21,89	20,88	6,02	9,62	7,76	45,0	231	5	4
MW	21,92	20,83	6,09	9,34	7,75	45,5	238		
Sollwert	22,13	22,16	5,61	8,14	7,62	39,4	191		
ANOVA									
Kammer	***	ns	ns	ns	ns	*	ns	FG = 4	
Restfehler	0,023	0,082	0,025	0,260	0,015	1,037	141,7	FG =15	
Levene ¹	ns	*	ns	**	ns	ns	ns		

¹ Test auf Varianzhomogenität

Tabelle 8.9: Laborprobenteiler PTF

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Mischung
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	
61	22,71	6,10	20,97	9,15	7,56	31,90	226,97	1
62	22,23	6,08	22,12	9,12	7,76	32,09	209,70	1
63	20,69	6,24	21,62	8,01	7,69	33,47	217,16	1
64	21,78	6,12	22,24	7,97	7,74	32,95	203,51	1
65	22,05	6,19	21,62	9,02	7,73	32,40	260,32	1
66	21,36	6,03	22,06	10,41	7,68	32,98	249,59	1
67	21,55	6,03	22,05	12,47	7,62	31,05	217,95	1
68	21,79	5,96	22,08	9,34	7,78	31,57	202,02	1
69	22,18	5,87	22,30	8,95	7,53	34,08	217,14	2
70	21,49	5,99	22,10	8,56	7,69	32,97	233,78	2
71	21,97	6,12	21,97	8,43	7,57	35,42	276,59	2
72	22,09	6,18	21,49	9,06	7,73	34,44	233,66	2
73	21,81	6,16	22,25	8,73	7,65	33,10	209,95	2
74	22,12	6,14	21,60	9,14	7,75	33,22	224,85	2
75	22,59	5,99	21,69	9,60	7,55	33,86	214,06	2
76	23,17	6,23	21,75	10,53	7,54	35,21	209,55	2
77	22,37	6,07	21,34	9,25	7,79	35,47	215,37	3
78	21,54	5,93	21,46	8,76	7,57	32,33	192,55	3
79	22,35	6,13	21,60	9,16	7,48	33,70	214,80	3
80	21,62	6,08	21,36	8,82	7,64	34,06	206,86	3
81	21,95	6,21	21,27	8,87	7,67	34,20	213,27	3
82	22,00	6,11	21,43	8,67	7,69	34,13	222,10	3
83	21,83	5,99	21,57	8,60	7,64	36,01	202,92	3
84	22,24	6,07	22,16	9,42	7,69	33,54	196,16	3
85	21,74	6,02	21,77	9,35	7,63	32,71	211,63	4
86	21,74	6,17	22,24	9,18	7,65	33,04	204,33	4
87	22,17	6,00	21,88	10,01	7,57	31,98	216,89	4
88	21,55	6,20	22,25	9,37	7,56	34,99	220,12	4
89	21,79	6,23	21,76	9,84	7,64	31,78	216,25	4
90	21,70	6,15	21,79	8,66	7,58	31,38	217,16	4
91	22,22	6,20	22,04	9,20	7,59	32,46	209,13	4
92	22,36	6,14	21,45	9,09	7,61	32,81	237,80	4
MW	21,96	6,10	21,79	9,21	7,64	33,29	218,88	
Sollwert	22,33	5,89	21,08	8,34	9,24	28,78	174,93	
ANOVA								
Mischung	ns	ns	Ns	ns	ns	***	ns	FG = 3
Restfehler	0,203	0,009	0,106	0,706	0,006	1,012	286,1	FG = 28
Levene ¹	Ns	ns	Ns	*	ns	ns	ns	

¹ Test auf Varianzhomogenität

Tabelle 8.10: Probenteiler Landwirtschaftskammer Münster,
bewegte Futtersäule (siehe Material und Methoden 3.3.3)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Gefäß
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	
267	20,39	21,13	5,20	7,77	6,94	43,4	212	1
268	21,42	21,08	4,81	7,82	7,01	43,2	209	1
269	21,46	21,30	5,48	7,71	7,12	43,1	209	1
270	20,50	22,19	5,54	8,06	7,62	44,1	218	1
271	21,30	22,27	5,19	7,76	7,05	43,8	212	2
272	20,46	22,64	5,49	8,15	7,96	44,2	218	2
273	20,20	22,19	5,71	8,25	7,73	42,2	222	2
274	21,32	21,39	5,39	7,72	7,45	43,1	207	2
275	20,30	22,11	5,68	8,24	7,69	44,0	218	3
276	21,15	21,38	5,44	7,86	7,35	44,6	209	3
277	21,31	21,60	5,31	7,71	6,86	43,4	204	3
278	20,16	22,66	5,75	8,17	7,40	42,9	218	3
279	20,94	22,43	5,53	7,70	7,10	44,5	208	4
280	20,56	22,01	5,59	7,83	7,41	41,5	213	4
281	20,29	21,87	5,72	8,02	7,44	41,0	217	4
282	20,82	21,52	5,50	7,73	7,68	42,9	205	4
283	21,10	21,49	5,25	7,63	7,74	43,9	204	5
284	20,42	22,62	5,63	7,87	7,88	42,4	212	5
285	20,81	22,18	5,33	7,81	8,15	42,9	206	5
286	21,25	21,59	5,25	7,67	7,57	43,1	204	5
287	21,26	21,50	5,23	7,75	8,01	43,2	199	6
288	20,91	21,82	5,50	7,85	8,31	42,9	205	6
289	21,14	22,04	4,99	7,79	7,68	45,0	207	6
290	21,28	21,63	5,03	7,74	7,54	43,6	209	6
Mittelwert	20,86	21,86	5,40	7,86	7,53	43,3	210	
Sollwert	22,13	21,16	5,40	8,14	7,62	39,4	191	

Tabelle 8.11: Probenteiler Landwirtschaftskammer Münster,
stehende Futtersäule (siehe Material und Methoden 3.3.3)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Gefäße
	%	% TM	% TM	
141	21,46	19,87	5,67	1
142	21,54	20,51	5,68	1
143	21,48	19,50	5,64	1
144	21,45	20,27	5,63	1
145	21,45	20,41	5,64	2
146	21,52	20,28	5,64	2
147	21,57	19,96	5,66	2
148	21,60	20,09	5,63	2
149	21,66	19,99	5,64	3
150	21,54	20,13	5,64	3
151	21,59	19,41	5,62	3
152	21,58	19,77	5,60	3
153	21,35	20,41	5,64	4
154	21,35	20,27	5,65	4
155	21,38	20,15	5,62	4
156	21,41	20,34	5,67	4
157	21,43	19,46	5,65	5
158	21,46	20,29	5,66	5
159	21,48	20,38	5,64	5
160	21,46	19,15	5,64	5
161	21,44	20,09	5,62	6
162	21,52	20,24	5,66	6
163	21,53	20,25	5,65	6
164	21,47	20,33	5,74	6
Mittelwert	21,49	20,06	5,65	
Sollwert	22,25	20,88	5,66	

Tabelle 8.12: Probenmessstab, laufendes Rührwerk, ohne Bypass (Kammern)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Mischung	Ka.
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM		
93	18,78	20,89	6,97	10,28	8,73	47,8	241	1	1
94	19,74	21,32	6,66	9,56	8,62	45,0	239	1	2
95	19,28	22,27	7,16	11,02	8,91	46,1	273	1	3
96	18,99	22,99	6,90	10,33	8,84	47,0	250	1	4
97	25,61	19,77	36,78	115,74	16,77	77,8	953	1	5
98	19,57	23,66	6,69	9,88	8,58	49,5	243	2	1
99	19,72	23,60	6,14	10,50	8,75	47,1	253	2	2
100	19,34	21,53	6,58	11,02	8,79	47,1	278	2	3
101	18,59	23,63	6,74	10,76	9,12	50,8	258	2	4
102	24,50	17,66	28,86	84,82	14,89	88,6	895	2	5
103	19,00	22,93	6,31	9,88	8,46	48,9	226	3	1
104	19,88	22,03	6,54	10,27	8,75	47,2	260	3	2
105	19,57	22,49	6,91	11,93	8,70	47,3	288	3	3
106	18,91	23,02	5,95	10,99	9,00	48,5	255	3	4
107	22,26	19,64	21,14	61,30	12,61	67,4	812	3	5
108	19,51	22,61	5,91	9,36	8,35	49,1	231	4	1
109	19,79	22,34	6,53	9,64	8,44	45,8	260	4	2
110	20,11	21,08	6,91	10,41	8,53	44,7	270	4	3
111	19,03	23,41	6,87	10,33	8,63	46,1	241	4	4
112	22,32	18,85	24,89	71,06	13,97	69,4	865	4	5
MW	20,23	21,79	10,87	24,95	9,87	53,1	380		
Sollwert	22,13	20,88	5,66	7,95	9,19	39,5	194		

Tabelle 8.13: Probenmessstab, stehendes Rührwerk, ohne Bypass (Kammern)

Probe-Nr.	TM	RP	RA	Ca	P	Cu	Zn	Mischung	Ka
	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM		.
113	21,11	20,63	6,49	9,89	8,15	46,2	250	1	1
114	21,01	20,34	6,11	9,50	7,86	47,2	220	1	2
115	20,30	20,70	6,48	9,61	8,29	43,9	224	1	3
116	20,84	20,47	6,34	9,64	8,08	42,0	238	1	4
117	22,67	19,07	11,81	28,70	9,69	50,3	553	1	5
118	21,56	21,22	6,28	9,57	8,00	43,6	233	2	1
119	20,78	21,91	6,27	9,10	8,01	45,3	225	2	2
120	20,66	21,44	6,19	8,93	8,01	43,6	310	2	3
121	21,27	21,17	6,14	8,95	7,89	43,6	219	2	4
122	22,01	20,15	11,41	26,74	8,97	44,2	574	2	5
123	21,08	20,62	6,13	8,98	7,86	44,7	228	3	1
124	21,08	20,96	6,16	8,96	7,88	45,8	211	3	2
125	20,37	20,58	6,35	9,43	8,17	44,8	221	3	3
126	21,01	20,32	6,38	9,36	7,97	43,6	214	3	4
127	22,88	19,93	7,82	15,06	8,23	47,4	382	3	5
128	21,66	20,69	6,12	9,19	7,77	44,8	227	4	1
129	21,51	20,13	6,14	9,03	7,70	43,4	217	4	2
130	21,19	20,02	6,12	8,74	7,90	43,9	213	4	3
131	21,52	20,30	6,25	9,27	7,78	43,9	205	4	4
132	21,37	19,75	7,87	12,22	8,22	45,6	324	4	5
MW	21,29	20,52	6,94	11,54	8,12	44,9	274		
Sollwert	22,13	20,88	5,66	7,95	9,19	39,5	194		

Tabelle 8.14: Einfluss der Quellbarkeit (Mischung A)

Ka.	Zeit	TM	RA	RP	Ca	P	Cu	Zn
	h	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
1	0,28	20,53	5,96	21,38	8,96	7,83	103,9	149,8
2	0,28	20,93	5,72	21,18	8,64	7,72	99,2	148,5
3	0,28	21,2	5,66	21,32	8,47	7,58	100,4	152,5
4	0,28	21,12	5,88	21,19	8,69	7,73	101,3	147,5
5	0,28	21,78	5,74	20,71	9,01	7,68	98	175,3
	MW	21,11	5,79	21,16	8,75	7,71	100,56	154,72
	SW	0,45	0,12	0,72	0,35	0,81	2,59	12,46
1	0,77	20,69	5,78	21,31	8,44	7,65	104,6	142,4
2	0,77	21,16	5,53	21,15	8,34	7,62	94	161,3
3	0,77	21,11	5,67	21,37	8,6	7,63	101,3	137,6
4	0,77	21,03	5,85	21,33	8,56	7,71	103,2	159,5
5	0,77	21,27	5,81	20,96	8,32	7,5	99,8	137,8
	MW	21,05	5,73	21,22	8,45	7,62	100,58	147,72
	SW	0,22	0,13	0,39	0,26	0,47	4,36	12,22
1	1,08	20,37	5,89	22,04	8,66	7,77	103,6	146,5
2	1,08	20,98	5,8	21,58	8,53	7,63	95,2	140,7
3	1,08	20,96	5,67	21,34	8,31	7,52	99	135,3
4	1,08	20,99	6,05	21,68	8,7	7,74	100,1	175,6
5	1,08	20,95	5,65	21,06	8,2	7,63	94,6	161,5
	MW	20,85	5,81	21,54	8,48	7,66	98,50	151,92
	SW	0,27	0,17	0,64	0,38	0,74	4,09	17,20
1	1,5	20,4	5,86	21,59	8,65	7,74	103,4	158
2	1,5	20,98	5,67	21,35	8,31	7,57	92,3	148,2
3	1,5	21,01	5,68	21,26	8,51	7,59	93,8	141,8
4	1,5	20,94	5,78	21,61	8,53	7,76	96,2	146,6
5	1,5	20,76	5,72	21,28	8,47	7,62	98,5	138,4
	MW	20,82	5,74	21,42	8,49	7,66	96,84	146,60
	SW	0,25	0,08	0,42	0,20	0,51	4,56	7,97
1	1,85	20,55	5,89	21,61	8,49	7,87	100,1	159,9
2	1,85	21,18	5,78	21,35	7,88	7,62	99,9	154,3
3	1,85	21,11	5,8	21,41	7,97	7,6	100,8	145,2
4	1,85	20,8	5,83	21,26	8,16	7,69	99,7	154,7
5	1,85	20,78	5,93	21,12	8,18	7,7	101,5	149,8
	MW	20,88	5,85	21,35	8,14	7,70	100,40	152,78
	SW	0,26	0,06	0,44	0,30	0,55	1,04	6,09
1	2,35	20,56	5,82	21,27	8	7,67	102,3	140,9
2	2,35	21,05	5,8	21,24	7,9	7,59	100,6	155,81
3	2,35	21,12	5,57	21,53	8,26	7,88	96,4	143,1
4	2,35	20,86	5,87	21,7	8,72	8,02	99	144,1
5	2,35	21,06	5,6	21,33	8,42	7,93	96,2	153,3
	MW	20,93	5,73	21,41	8,26	7,82	98,90	147,44
	SW	0,23	0,14	0,42	0,47	0,61	3,11	7,26

Ka.	Zeit	TM	RA	RP	Ca	P	Cu	Zn
	h	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
1	3	20,74	5,76	21,66	8,55	8,05	99,8	151,5
2	3	21	5,79	21,59	8,38	7,97	88,9	151,5
3	3	21,06	5,58	21,57	8,16	8,01	97,3	145,7
4	3	20,99	5,77	21,56	8,58	7,99	101,4	145
5	3	20,89	5,36	21,64	8,48	8,04	101,8	144,8
	MW	20,94	5,65	21,60	8,43	8,01	97,84	147,70
	SW	0,13	0,18	0,17	0,35	0,20	5,65	3,69
1	4	20,74	5,42	21,51	8,48	7,87	101,4	146,3
2	4	21,01	5,58	21,47	8,5	7,86	98,3	141,9
3	4	20,92	5,46	21,38	8,45	8	98	139,7
4	4	21,03	5,6	21,43	8,62	7,96	98,1	159,6
5	4	20,82	5,61	20,92	8,67	7,94	100,1	152,9
	MW	20,90	5,53	21,34	8,54	7,93	99,18	148,08
	SW	0,12	0,09	0,36	0,18	0,42	1,69	8,60
1	22	21,12	5,7	21,71	9,06	8,08	103,8	151,3
2	22	21,32	5,09	21,48	8,83	8,08	102,3	141,9
3	22	21,28	5,41	21,2	9	7,92	104,2	166,6
4	22	21,15	5,58	20,97	8,51	7,9	96,6	153,9
5	22	20,98	5,38	21,52	8,74	8,05	100,9	142,5
	MW	21,17	5,43	21,38	8,83	8,01	101,56	151,24
	SW	0,14	0,23	0,43	0,45	0,52	3,52	10,60

Kammer	Zeit	TM	RA	RP	Ca	P	Cu	Zn
	h	%	% TM	% TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Korrelation zwischen Zeit und Kammer								
1	r [#] (7FG)	0,85**	-0,34	0,23	0,50	0,66	0,15	0,09
2	r	0,74*	-0,89***	0,32	0,52	0,75*	0,47	-0,43
3	r	0,56	-0,71*	0,48	0,70*	0,46	0,58	0,82**
4	r	0,49	-0,67*	-0,62	-0,12	0,32	-0,53	-0,03
5	r	-0,17	-0,60	0,50	0,33	0,60	0,35	-0,30

Ka.= Kammer (Probenmessstab); [#] r = Korrelationskoeffizient: * p< 0,05; ** p < 0,01; *** <0,001

Tabelle 8.15: Einfluss der Quellbarkeit (Mischung B, TM %, RA in % TM)

Zeit	45 min	90 min	3 h	9 h	21 h
Kammer					
TM					
1	22,50	21,65	21,63	22,30	21,96
2	21,91	22,00	21,86	22,38	22,14
3	22,03	22,00	22,18	22,39	22,35
4	22,59	22,12	22,40	22,50	22,25
5	22,53	21,98	21,96	22,60	22,15
MW	22,31	21,95	22,01	22,43	22,17
SW	0,32	0,18	0,30	0,12	0,15
Regression: $Y = a + bX$					
Kammer	1	2	3	4	5
r (3 FG)	0,37	0,70	0,64	0,97	0,53
p	ns	ns	ns	**	ns
$s_{y.x}$	0,34	0,15	0,26	0,03	0,14
a	22,09	21,72	21,65	22,22	22,02
b	0,074	0,078	0,120	0,072	0,049
RA					
1	5,02	5,08	5,03	5,13	5,54
2	5,09	5,18	5,09	5,28	5,11
3	5,04	5,07	5,15	5,25	5,19
4	5,15	5,23	5,57	5,41	5,13
5	5,31	5,70	5,98	5,38	5,11
MW	5,12	5,25	5,36	5,29	5,22
SW	0,12	0,26	0,40	0,11	0,18
Regression: $Y = a + bX$					
Kammer	1	2	3	4	5
r (3 FG)	0,97	0,05	0,65	0,30	0,65
p	**	ns	ns	ns	ns
$s_{y.x}$	0,063	0,094	0,075	0,207	0,302
a	4,98	5,15	5,09	5,34	5,68
b	0,025	0,001	0,007	-0,007	0,165

Tabelle 8.16: Quantitative Dosiergenauigkeit (in kg) im Vergleich von zwei Rührwerken
(RW: 1 = Propellerkranz vs. 2 = Kreuzbalken) und zwei Sollmassen
an zehn Ventilpositionen

RW	Sollmasse	Ventil	Durchgang					MW
			1	2	3	4	5	
1	5	0	5,925	6,627	7,012	6,978	6,213	6,55
1	5	1	6,421	6,667	5,954	7,728	7,540	6,86
1	5	2	5,665	4,463	5,591	3,921	4,964	4,92
1	5	3	4,364	4,329	5,583	4,240	5,346	4,77
1	5	4	4,192	5,331	4,429	5,432	4,483	4,77
1	5	12	3,750	4,445	3,754	3,860	4,311	4,02
1	5	13	6,309	4,067	4,658	4,699	4,889	4,92
1	5	14	5,720	4,639	4,845	5,612	4,833	5,13
1	5	15	3,236	5,522	4,860	4,193	5,637	4,69
1	5	16	4,537	4,708	5,542	5,303	4,028	4,82
1	25	0	29,256	30,569	27,745	28,261	24,665	28,10
1	25	1	24,185	25,574	24,809	24,883	24,893	24,87
1	25	2	25,723	24,779	25,491	25,706	24,776	25,30
1	25	3	24,301	24,134	24,254	25,353	25,596	24,73
1	25	4	25,446	25,759	25,031	24,091	24,306	24,93
1	25	12	24,433	22,995	24,717	23,928	25,516	24,32
1	25	13	24,375	24,167	24,746	26,616	25,506	25,08
1	25	14	24,674	25,22	24,555	23,714	24,575	24,55
1	25	15	25,742	24,951	25,165	26,049	25,237	25,43
1	25	16	25,125	25,892	25,576	24,891	24,874	25,27
2	5	0	7,488	7,015	7,247	6,683	5,386	6,76
2	5	1	4,504	5,452	6,209	6,969	6,634	5,95
2	5	2	6,521	5,055	5,324	5,433	5,321	5,53
2	5	3	4,379	4,824	3,917	3,991	5,628	4,55
2	5	4	5,499	4,758	4,608	3,660	4,879	4,68
2	5	12	3,465	4,701	4,777	5,451	3,738	4,43
2	5	13	4,720	3,482	4,947	4,861	4,953	4,59
2	5	14	5,899	5,666	5,877	5,036	5,049	5,51
2	5	15	4,183	6,504	4,220	4,911	4,913	4,95
2	5	16	4,664	4,108	4,673	4,083	5,571	4,62
2	25	0	27,697	27,641	29,753	28,479	25,128	27,74
2	25	1	25,747	24,694	25,396	23,602	24,854	24,86
2	25	2	24,368	25,56	24,280	25,959	25,836	25,20
2	25	3	24,152	25,23	24,476	24,11	24,519	24,50
2	25	4	24,673	24,002	25,776	26,984	24,377	25,16
2	25	12	24,644	26,49	24,152	23,123	24,458	24,57
2	25	13	26,011	25,594	24,297	24,566	25,521	25,20
2	25	14	24,348	23,613	25,242	24,364	25,520	24,62
2	25	15	25,772	25,111	24,654	25,444	26,080	25,41
2	25	16	25,44	24,701	25,731	25,811	24,824	25,30

Tabelle 8.17: Quantitative Dosiergenauigkeit (in kg) im Vergleich von zwei Anlagen und drei Sollmassen an neun Ventilpositionen

Anlage	B	B	B	A	A	A
Sollmasse	20 kg	40 kg	60 kg	20 kg	40 kg	60 kg
VENTIL						
1	19,071	39,829	58,663	21,17	37,114	58,969
1	19,824	40,848	62,32	21,444	37,617	64,189
1	20,059	40,942	61,697	20,191	39,251	63,725
1	20,272	41,553	62,428	20,618	39,116	62,507
1	20,238	39,414	64,359	19,585	38,282	62,314
MW	19,89	40,52	61,89	20,60	38,28	62,34
2	21,645	41,255	58,152	19,602	41,824	60,498
2	19,799	41,406	59,028	19,067	41,283	59,489
2	20,066	42,345	60,129	19,618	40,173	57,53
2	20,906	36,937	60,005	20,558	38,429	59,497
2	19,59	41,19	60,30	19,61	39,84	59,46
MW	20,40	40,63	59,52	19,69	40,31	59,29
3	19,962	39,523	59,349	21,181	42,056	60,758
3	21,46	40,557	60,136	21,156	42,871	62,241
3	20,601	40,046	59,076	21,856	42,753	62,81
3	19,373	39,952	55,781	21,372	44,049	61,849
3	19,41	39,87	59,73	20,29	43,50	62,22
MW	20,16	39,99	58,81	21,17	43,05	61,98
4	19,97	40,617	59,592	19,341	36,938	59,439
4	20,032	38,499	58,646	19,822	35,975	59,005
4	20,248	40,699	61,093	18,95	37,949	59,038
4	19,253	39,291	60,121	18,365	37,061	58,609
4	20,182	39,709	59,292	20,074	36,968	58,521
MW	19,93	39,76	59,75	19,31	36,98	58,92
5	20,012	39,726	59,543	20,81	40,887	60,985
5	20,686	39,326	61,148	19,771	41,426	61,834
5	19,965	40,358	63,693	20,022	39,418	60,931
5	20,576	39,789	60,705	20,531	41,394	60,683
5	19,829	39,495	58,871	19,809	41,641	61,344
MW	20,21	39,74	60,79	20,19	40,95	61,16

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 8.17: Fortsetzung

Anlage	B	B	B	A	A	A
Sollmasse	20 kg	40 kg	60 kg	20 kg	40 kg	60 kg
VENTIL						
12	19,808	41,137	55,357	18,969	37,136	58,381
12	20,241	39,195	56,355	18,881	35,133	58,445
12	20,063	39,542	57,34	18,984	37,868	57,753
12	19,708	39,854	57,668	18,836	37,532	59,508
12	19,595	40,831	55,7	19,255	35,786	60,402
MW	19,88	40,11	56,46	18,99	36,69	58,90
13	20,952	41,981	57,784	19,185	43,686	61,545
13	19,364	41,532	57,649	20,629	44,711	62,851
13	18,998	39,457	55,383	20,489	44,029	61,486
13	19,48	41,96	60,36	20,337	43,247	60,598
13	19,085	40,86	57,922	20,367	45,313	59,951
MW	19,58	41,16	57,82	20,20	44,20	61,29
23	20,122	41,587	59,093	19,75	40,007	59,466
23	19,984	41,404	61,555	18,256	35,53	60,516
23	19,1	41,267	61,803	18,163	36,42	61,325
23	19,833	41,36	61,605	19,139	38,198	59,016
23	19,202	43,125	57,659	18,655	35,36	58,951
MW	19,65	41,75	60,34	18,79	37,10	59,85
24	20,098	37,866	59,421	20,104	39,628	60,393
24	19,126	41,058	57,703	20,684	42,986	60,363
24	19,408	39,513	59,514	21,239	43,395	61,198
24	21,517	39,017	59,488	20,424	41,046	62,738
24	20,098	39,352	62,718	19,875	43,573	62,087
MW	20,05	39,36	59,77	20,47	42,13	61,36

Tabelle 8.18: Qualitative Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Rührwerken (RW: 1 = Kreuzbalken vs. 2 = Propellerkranz) bei einer Sollmasse von 25 kg an zehn Ventilpositionen

RW	Ventil	TM %	RA % TM	RP % TM	Ca g/kg TM	P g/kg TM	Cu mg/kg TM	Zn mg/kg TM
1	0	22,42	6,14	22,32	9,89	7,41	29,74	187
1	0	21,98	6,22	21,64	10,44	7,63	31,14	193
1	1	22,10	6,64	22,44	9,71	7,40	31,17	182
1	1	22,57	6,05	22,06	9,35	7,32	28,98	188
1	2	22,11	6,08	21,60	9,59	7,39	29,36	184
1	2	21,62	5,99	22,06	8,70	7,38	29,47	182
1	3	22,63	5,83	22,08	8,28	7,29	29,63	167
1	3	21,52	6,18	21,74	8,49	7,29	29,32	172
1	4	22,93	6,17	22,08	8,33	7,36	31,53	172
1	4	22,32	5,91	21,72	8,89	7,40	30,65	177
1	12	21,78	5,74	21,43	9,28	7,41	28,15	184
1	12	21,80	5,83	21,98	9,23	7,19	29,56	180
1	13	21,45	5,77	22,06	9,54	7,40	28,29	186
1	13	21,37	5,91	22,10	9,56	7,39	28,85	183
1	14	21,62	6,08	21,71	9,63	7,34	30,37	183
1	14	21,46	5,95	21,92	8,44	7,43	29,28	170
1	15	21,89	5,74	22,20	8,32	7,60	28,48	176
1	15	21,31	6,05	22,30	8,27	7,57	27,96	175
1	16	22,37	5,80	22,01	8,44	7,68	31,05	194
1	16	21,09	6,07	22,41	8,40	7,66	31,09	181
2	0	21,55	5,88	21,97	8,61	8,09	27,89	172
2	0	21,50	5,96	22,16	8,63	8,27	28,31	182
2	1	21,44	6,12	22,19	9,40	8,11	27,98	188
2	1	21,44	6,07	22,17	9,25	8,14	28,72	180
2	2	21,66	5,91	21,88	9,21	8,12	28,31	187
2	2	21,80	6,12	21,87	8,93	7,08	27,95	187
2	3	21,69	5,88	21,60	8,65	7,54	28,46	183
2	3	21,50	6,15	21,71	8,92	8,05	29,70	191
2	4	21,49	6,01	22,00	8,91	8,03	27,46	180
2	4	21,45	6,30	22,01	8,70	7,68	27,91	185
2	12	21,45	5,84	21,73	8,09	7,85	29,77	180
2	12	22,19	5,78	21,79	7,86	7,37	29,43	173
2	13	21,21	5,92	21,56	8,55	7,48	29,75	179
2	13	21,29	5,86	21,40	8,48	7,07	29,49	179
2	14	21,23	5,75	21,69	8,37	7,23	30,26	208
2	14	21,15	5,85	21,30	8,35	7,44	30,03	178
2	15	21,71	5,86	21,77	8,48	7,70	30,30	192
2	15	21,66	5,77	21,75	8,57	7,34	29,29	188
2	16	21,46	5,26	21,89	8,26	7,14	30,34	177
2	16	21,65	5,82	21,61	8,50	7,11	28,80	186

Tabelle 8.19: Qualitative Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Rührwerken
(RW: 1 = Kreuzbalken vs. 2 = Propellerkranz) bei einer Sollmasse von 5 kg
an zehn Ventilpositionen

RW	Ventil	TM %	RA % TM	RP % TM	Ca g/kg TM	P g/kg TM	Cu mg/kg TM	Zn mg/kg TM
1	0	24,26	5,59	22,55	7,12	7,48	31,33	160
1	0	20,85	5,74	22,04	8,89	7,58	28,43	177
1	1	21,53	5,98	22,10	7,82	7,49	30,39	162
1	1	21,63	5,45	22,46	6,26	7,27	31,36	149
1	2	23,99	5,84	22,31	7,26	7,39	32,22	174
1	2	21,27	5,64	22,35	7,11	7,47	31,58	161
1	3	22,22	5,23	22,20	8,10	7,42	30,64	162
1	3	21,02	5,77	22,19	7,24	7,39	29,74	161
1	4	18,73	5,47	22,39	6,77	7,28	29,64	151
1	4	21,07	5,51	21,89	7,33	7,37	30,64	162
1	12	20,77	5,49	22,14	7,74	7,40	29,86	170
1	12	21,16	5,55	22,39	7,38	7,35	30,02	168
1	13	18,25	5,86	21,43	7,18	7,47	28,30	164
1	13	21,89	5,58	22,57	7,94	7,42	28,88	187
1	14	21,04	5,47	22,31	7,67	7,48	30,97	172
1	14	21,15	5,65	21,88	7,41	7,42	30,44	170
1	15	18,78	5,30	22,27	7,55	7,47	30,66	173
1	15	24,42	5,56	22,08	8,06	7,25	30,71	174
1	16	19,97	5,71	22,34	7,81	7,53	30,47	174
1	16	21,63	5,66	22,50	7,68	8,15	31,05	163
2	0	21,47	5,68	21,71	9,31	7,35	30,12	191
2	0	21,46	5,92	21,89	9,15	7,90	31,06	191
2	1	21,22	6,13	22,19	9,07	8,16	30,76	197
2	1	21,49	5,96	21,34	9,41	7,45	31,28	196
2	2	21,33	6,00	21,32	9,16	7,73	31,33	193
2	2	21,26	5,88	21,66	9,11	7,47	31,75	193
2	3	21,55	5,84	21,36	9,25	7,48	32,53	200
2	3	21,31	5,74	21,26	9,26	7,49	33,27	209
2	4	21,38	5,89	21,73	9,32	7,52	31,13	196
2	4	20,99	6,20	22,09	9,15	7,74	31,15	187
2	12	20,87	6,00	22,02	8,89	7,77	30,26	184
2	12	20,74	6,17	21,98	8,59	7,78	29,43	184
2	13	20,77	5,97	22,00	8,58	7,63	30,20	181
2	13	20,88	5,97	21,89	8,54	7,71	29,91	190
2	14	20,95	6,09	21,86	8,75	8,04	31,15	181
2	14	20,96	5,84	22,20	8,73	7,58	30,59	177
2	15	21,03	6,06	21,65	8,75	7,57	30,76	179
2	15	21,09	5,83	21,70	8,78	7,61	32,00	178
2	16	21,14	5,92	21,08	8,88	7,58	29,99	180
2	16	21,05	6,01	21,24	8,81	7,53	30,03	188

Tabelle 8.20: Qualitative Dosiergenauigkeit von zwei Anlagen (AN: 1 = Anlage B vs. 2 = Anlage A) bei 20 kg Sollmasse an neun Ventilpositionen

AN	Ventil	TM %	RA % TM	RP % TM	Ca g/kg TM	P g/kg TM	Cu mg/kg TM	Zn mg/kg TM
1	1	22,69	5,63	20,79	7,91	7,27	36,0	194
1	1	22,45	5,73	20,95	7,92	7,26	35,8	199
1	2	22,32	5,97	21,32	8,37	6,87	32,1	189
1	2	22,31	5,52	20,83	8,05	7,14	34,9	190
1	3	21,90	5,92	20,86	8,72	7,24	35,5	199
1	3	20,58	5,62	21,27	8,34	7,34	36,3	197
1	4	22,09	6,19	20,74	9,59	7,17	34,0	198
1	4	22,11	6,04	21,16	9,14	7,02	33,3	187
1	5	22,24	5,79	21,00	8,32	7,12	34,2	192
1	5	21,92	5,94	21,14	8,66	7,18	34,7	187
1	6	21,55	5,88	20,98	9,07	7,23	34,8	194
1	6	21,24	5,99	20,71	9,23	7,11	34,5	190
1	7	21,48	5,87	21,03	8,86	7,27	37,4	201
1	7	21,47	5,71	21,25	8,46	6,86	34,4	180
1	8	21,10	6,02	22,37	8,73	7,26	36,6	193
1	8	21,29	5,86	20,85	8,54	7,29	36,6	196
1	9	22,15	5,78	21,88	8,45	7,25	36,2	195
1	9	22,15	5,90	21,15	8,51	7,30	36,1	192
1	MB	24,02	5,56	20,45	7,51	7,26	35,9	191
1	MB	22,85	5,33	21,06	7,64	7,25	35,8	191
2	1	21,62	5,89	20,73	10,28	6,87	34,0	183
2	1	22,28	5,76	18,90	10,00	7,03	34,7	193
2	2	22,64	5,76	20,32	9,77	7,00	34,4	192
2	2	22,64	5,77	19,52	10,16	7,12	34,9	189
2	3	22,14	5,74	18,99	10,05	6,90	33,8	190
2	3	22,27	5,77	19,17	10,23	7,07	34,8	191
2	4	22,46	5,76	20,28	10,09	7,09	33,6	195
2	4	22,18	5,74	20,58	10,12	7,11	33,7	189
2	5	22,24	5,61	20,17	9,91	7,13	34,2	193
2	5	22,18	5,64	20,31	9,89	7,01	34,1	183
2	6	22,33	5,57	19,88	9,38	7,13	33,7	193
2	6	22,27	5,56	19,58	9,44	7,04	33,9	191
2	7	21,94	5,60	19,79	9,43	7,13	36,5	196
2	7	22,14	5,47	20,26	8,84	7,06	35,8	186
2	8	22,13	5,51	20,06	9,27	6,96	35,1	185
2	8	22,09	5,56	19,88	9,10	6,93	34,8	187
2	9	22,19	5,56	19,37	8,96	6,86	34,3	185
2	9	22,11	5,58	20,96	9,05	7,00	35,1	184
2	MB	23,16	5,36	20,79	9,68	7,00	34,4	190
2	MB	23,58	5,27	21,00	9,65	7,04	34,6	188

MB: Konzentration im Mischbehälter

Tabelle 8.21: Qualitative Dosiergenauigkeit von zwei Anlagen (AN: 1 = Anlage B vs. 2 = Anlage A) bei 40 kg und 60 kg Sollmasse an neun Ventilpositionen

AN	Ventil	TM	RA	RP	TM	RA	RP
		% 40 kg	% d. TM 40 kg	% d. TM 40 kg	% 60 kg	% d. TM 60 kg	% d. TM 60 kg
1	1	21,19	5,74	21,93	22,44	5,84	22,31
1	1	21,45	5,60	20,56	22,28	5,69	21,93
1	2	20,95	5,78	21,87	21,93	5,83	22,22
1	2	21,17	5,72	20,75	22,01	5,70	22,09
1	3	20,79	5,58	21,09	21,97	5,81	22,20
1	3	21,19	5,78	20,59	21,58	5,67	22,04
1	4	21,99	5,74	20,66	22,16	5,86	22,12
1	4	21,31	5,84	20,90	21,95	5,71	21,71
1	5	21,86	5,56	20,88	22,37	5,73	21,84
1	5	21,38	5,74	20,82	21,90	5,60	21,43
1	6	21,90	6,43	20,72	22,00	5,58	22,12
1	6	21,64	5,50	20,62	22,03	5,32	21,55
1	7	21,70	5,52	20,36	22,35	5,34	22,01
1	7	21,79	5,39	20,63	21,83	5,24	21,61
1	8	22,18	5,45	20,09	22,58	5,78	21,79
1	8	22,09	5,49	21,05	21,91	5,53	21,33
1	9	22,14	5,44	20,52	22,46	5,44	21,93
1	9	21,64	5,48	20,67	22,14	5,36	21,54
1	MB	24,02	5,56	20,45	24,45	5,64	23,46
1	MB	22,85	5,33	21,06	24,09	5,72	22,83
2	1	21,56	5,53	23,25	21,46	5,44	20,76
2	1	21,57	5,48	20,86	22,14	5,28	20,04
2	2	20,89	5,68	22,85	21,94	5,32	19,55
2	2	21,62	5,44	22,81	21,74	5,31	20,91
2	3	21,52	5,52	21,34	21,98	5,28	21,05
2	3	21,56	5,55	22,26	21,83	5,41	21,39
2	4	21,69	5,57	21,55	22,05	5,29	20,28
2	4	21,77	5,67	22,15	22,16	5,32	19,85
2	5	21,48	5,80	22,43	22,10	5,30	20,71
2	5	21,64	5,89	22,06	22,07	5,32	21,03
2	6	21,39	5,18	21,12	21,76	5,65	19,92
2	6	21,26	5,37	22,01	22,26	5,64	19,92
2	7	21,23	5,51	22,10	21,94	6,53	19,99
2	7	21,21	5,61	21,65	22,06	6,10	19,91
2	8	21,87	5,04	22,86	21,54	5,25	21,18
2	8	21,90	4,99	22,69	22,31	5,34	20,49
2	9	21,44	5,22	21,25	22,26	5,48	20,10
2	9	21,85	5,19	21,56	22,18	5,64	20,13
2	MB	23,37	5,43	22,89	23,75	5,71	20,29
2	MB	23,10	5,67	22,13	22,44	5,39	19,26

MB: Konzentration im Mischbehälter

Tabelle 8.22: ANOVA der Messwerte (in kg) zur quantitativen Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Rührwerken (RW: KB = Kreuzbalken vs. PK = Propellerkranz) und zwei Sollmassen (SM: 5 kg vs. 25 kg) an zehn Ventilpositionen (VP)

Merkmal	RW	SM	Signifikanz (P) der Faktoren					Restfehler	
			VP	RW x SM	RW x VP	VP x SM	RW x SM x VP	FG	MS (Rest)
Dreifaktoriell (Relativwerte):									
Masse (relativ)	ns	ns	***	ns	Ns	***	ns	160	106,205#
Zweifaktoriell (kg):									
Masse (kg)	ns		***		Ns			80	0,493
Soll 5 kg									
Masse (kg)	Ns		***		Ns			80	0,897
Soll 25 kg									
Zweifaktoriell (Relativwerte):									
Masse		ns	***			***		80	115,51#
RW KB									
Masse		ns	***			***		80	96,90#
RW PK									
Einfaktoriell (kg):									
RW KB			***					40	0,541
5 kg Soll									
RW KB			***					40	0,906
25 kg Soll									
RW PK			***					40	0,449
5 kg Soll									
RW PK			***					40	0,888#
25 kg Soll									

5 Wiederholungen pro RW x SM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Fehlende Gleichheit der Fehlervarianzen (Levene-Test)!

Tabelle 8.23: ANOVA der Messwerte (in kg) zur quantitativen Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Anlagen (A und B) und drei Sollmassen (SM: 20 kg, 40 kg und 60 kg) an neun Ventilpositionen (VP)

Merkmal	AN	SM	Signifikanz (P) der Faktoren					Restfehler	
			VP	AN x SM	AN x VP	VP x SM	AN x SM x VP	FG	MS (Rest)
Dreifaktoriell (Relativwerte):									
Masse (relativ)	ns	ns	***	ns	ns	***	ns	216	106,205#
Zweifaktoriell (kg):									
Masse (kg)	ns		***		***			72	0,376
Soll 20 kg									
Masse (kg)	ns		***		***			72	1,308#
Soll 40 kg									
Masse (kg)	***		***		**			72	1,893
Soll 60 kg									
Zweifaktoriell (Relativwerte):									
Masse		ns	***		***			108	115,51#
AN B									
Masse		ns	***		***			108	96,90#
AN A									
Einfaktoriell (kg):									
AN B			ns					36	0,426
20 kg Soll									
AN B		*				36	1,124		
40 kg Soll									
AN B		***				36	2,593		
60 kg Soll									
AN A		***				36	0,326		
20 kg Soll									
AN A		***				36	1,491#		
40 kg Soll									
AN A	***			36	1,193				
60 kg Soll									

5 Wiederholungen pro AN x SM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Fehlende Gleichheit der Fehlervarianzen (Levene-Test)!

Tabelle 8.24: Dreifaktorielle ANOVA zur Prüfung der qualitativen Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Rührwerken (RW: Kreuzbalken vs. Propellerkranz) und zwei Sollmassen (SM: 5 vs. 25 kg) an zehn Ventilpositionen (VP)

Merkmal	Signifikanz (P)							Restfehler	
	RW	SM	VP	RW x SM	RW x VP	VP x SM	RW x SM x VP	FG	MS (Rest)
TM	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	40	0,990
%									
RA	**	***	ns	***	ns	ns	ns	40	0,0312
% d. TM									
RP	***	ns	ns	**	ns	ns	ns	40	0,06635
% d. TM									
Ca	***	***	*	***	**	*	ns	40	0,1414
g/kg TM									
P	***	ns	ns	ns	**	ns	ns	40	0,04808
g/kg TM									
Cu	ns	***	*	***	***	**	**	40	0,4335
mg/kg TM									
Zn	***	**	ns	***	**	ns	**	40	44,322
mg/kg TM									

Zwei Messwerte pro RW x SM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Tabelle 8.25: Zweifaktorielle ANOVA zur qualitativen Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Rührwerken (RW: KB = Kreuzbalken vs. PK = Propellerkranz) und zwei Sollmassen (SM: 5 kg vs. 25 kg) an zehn Ventilpositionen (VP)

Merkmal	RW	SM	VP	SM x VP	Restfehler	
					FG	MS (Rest)
Innerhalb Rührwerk:						
TM	KB	Ns	ns	ns	20	1,955
%	PK	***	**	*		0,0247
Rohasche	KB	***	ns	ns	20	0,0397
% der TM	PK	ns	ns	ns		0,0225
Rohprotein	KB	*	ns	ns	20	0,0958
% der TM	PK	ns	**	**		0,0369
Calcium	KB	***	ns	ns	20	0,267
g/kg TM	PK	***	***	**		0,0153
Phosphor	KB	Ns	**	ns	20	0,0158
g/kg TM	PK	ns	ns	ns		0,0802
Kupfer	KB	*	**	ns	20	0,599
mg/kg TM	PK	***	**	***		0,268
Zink	KB	***	ns	ns	20	48,75
mg/kg TM	PK	*	ns	*		39,89
Innerhalb Sollmasse:						
Merkmal	SM kg	RW	VP	RWxVP	Restfehler	
					FG	MS (Rest)
TM	5	ns	ns	ns	20	1,856
%	25	**	ns	ns		0,123
Rohasche	5	***	ns	ns	20	0,0295
% der TM	25	ns	*	ns		0,0329
Rohprotein	5	***	ns	ns	20	0,0854
% der TM	25	*	ns	ns		0,0473
Calcium	5	***	ns	ns	20	0,1993
g/kg TM	25	***	***	**		0,0837
Phosphor	5	**	ns	ns	20	0,0415
g/kg TM	25	**	ns	*		0,0548
Kupfer	5	*	***	ns	20	0,426
mg/kg TM	25	**	ns	***		0,441
Zink	5	***	ns	**	20	44,14
mg/kg TM	25	ns	ns	*		44,51

Zwei Wiederholungen pro RWxSM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Tabelle 8.26: ANOVA zur qualitativen Dosiergenauigkeit innerhalb der Rührwerk-Sollmasse-Kombinationen (RW: KB = Kreuzbalken vs. PK = Propellerkranz; SM: 5 und 25 kg) an zehn Ventilpositionen (VP)

Merkmal	RW	SM kg	VP	Restfehler	
				FG	MS (Rest)
TM %	KB	5	ns	10	3,697
	KB	25	ns		0,213
	PK	5	**		0,0165
	PK	25	ns		0,0331
Rohasche % der TM	KB	5	ns	10	0,0408
	KB	25	ns		0,0386
	PK	5	ns		0,0181
	PK	25	ns		0,0273
Rohprotein % der TM	KB	5	ns	10	0,113
	KB	25	ns		0,0787
	PK	5	*		0,0584
	PK	25	**		0,0155
Calcium g/kg TM	KB	5	ns	10	0,385
	KB	25	**		0,150
	PK	5	***		0,0136
	PK	25	***		0,0171
Phosphor g/kg TM	KB	5	ns	10	0,0256
	KB	25	**		0,0058
	PK	5	ns		0,0569
	PK	25	ns		0,0104
Kupfer mg/kg TM	KB	5	ns	10	0,628
	KB	25	*		0,570
	PK	5	**		0,225
	PK	25	*		0,311
Zink mg/kg TM	KB	5	ns	10	71,60
	KB	25	*		25,90
	PK	5	**		16,67
	PK	25	ns		63,12

Zwei Wiederholungen pro RW x SM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Tabelle 8.27: Dreifaktorielle ANOVA zur qualitativen Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Anlagen (A und B) und drei Sollmassen (SM: 20, 40 und 60 kg) an neun Ventilpositionen (VP)

Merkmal	AN	SM	VP	Signifikanz (P) der Faktoren				Restfehler	
				AN x SM	AN x VP	SM x VP	AN x SM x VP	FG	MS (Rest)
TM (rel.[§])	ns	ns	**	ns	*	***	*	54	1,426
Rohasche (rel.[§])	***	***	***	***	***	***	***	54	3,017
Rohprotein (rel.[§])	***	**	ns	ns	Ns	ns	ns	54	5,406

Zwei Wiederholungen pro AN x SM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

[§], Konzentrationen in Prozent der Konzentration im Mischbehälter (Sollwert)

Tabelle 8.28: Zweifaktorielle ANOVA zur qualitativen Dosiergenauigkeit im Vergleich von zwei Anlagen (A und B) und drei Sollmassen (SM: 20, 40 und 60 kg) an neun Ventilpositionen (VP)

Merkmal	AN	SM	VP	SM x VP	Restfehler	
					FG	MS (Rest)
Innerhalb der Anlagen:						
TM	B	ns	**	**	27	1,795
(rel. §)	A	ns	ns	ns		1,057
Rohasche	B	***	***	***	27	3,398
(rel. §)	A	***	***	***		2,636
Rohprotein(re	B	**	ns	ns	27	3,121
l. §)	A	ns	ns	ns		7,691
Innerhalb Sollmassen:						
Merkmal	SM	AN	VP	ANxVP	Restfehler	
	kg				FG	MS (Rest)
TM	20	ns	**	**	18	1,531
(rel. §)	40	ns	**	ns		1,215
	60	ns	ns	ns		1,532
Rohasche	20	ns	ns	*	18	4,019
(rel. §)	40	***	***	***		2,200
	60	**	**	***		2,831
Rohprotein(re	20	*	ns	ns	18	6,721
l. §)	40	ns	ns	ns		7,207
	60	***	*	*		2,289
Calcium	20	***	***	***	18	5,407
(rel. §)						
Phosphor	20	ns	ns	*	18	2,200
(rel. §)						
Kupfer	20	ns	**	ns	18	4,754
(rel. §)						
Zink	20	ns	ns	ns	18	7,549
(rel. §)						

2 Wiederholungen pro AN x SM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

[§], Konzentrationen in Prozent der Konzentration im Mischbehälter (Sollwert)

Tabelle 8.29: ANOVA zur qualitativen Dosiergenauigkeit innerhalb der Anlage-Sollmasse-Kombinationen (Anlage: A und B; SM: 20, 40 und 60 kg) an neun Ventilpositionen (VP)

Merkmal	AN	SM kg	VP	Restfehler	
				FG	MS (Rest)
TM (rel. §)	B	20	*	9	2,389
	A	20	ns		0,674
	B	40	*		1,543
	A	40	ns		0,886
	B	60	ns		1,455
	A	60	ns		1,609
Rohasche (rel. §)	B	20	ns	9	7,094
	A	20	**		0,945
	B	40	***		2,106
	A	40	***		2,295
	B	60	***		0,994
	A	60	***		4,669
Rohprotein (rel. §)	B	20	ns	9	3,946
	A	20	ns		9,496
	B	40	ns		5,029
	A	40	ns		9,385
	B	60	*		0,387
	A	60	ns		4,191
Calcium (rel. §)	B	20	**	9	6,708
	A	20	***		4,105
Phosphor (rel. §)	B	20	ns	9	3,144
	A	20	ns		1,256
Kupfer (rel. §)	B	20	ns	9	8,124
	A	20	**		1,385
Zink (rel. §)	B	20	ns	9	9,831
	A	20	ns		5,266

Zwei Wiederholungen pro AN x SM-Kombination

ns = nicht signifikant ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

§ Konzentrationen in Prozent der Konzentration im Mischbehälter (Sollwert)

9 **Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2.1: Aufbau einer Flüssigfütterungsanlage

Abbildung 2.2: Dosiermöglichkeiten bei Flüssigfütterungsanlagen (BURGSTALLER 1991)

Abbildung 2.3: Zuteilgenauigkeit von Flüssigfütterungsanlagen bei Volumen- und Massendosierung (nach HEEGE und BECK 1986)

Abbildung 2.4: Variation der Futterzuteilung zwischen den Buchten bei der Schweinefütterung mit Trockenfütterungsanlagen (nach HEEGE und BECK 1986)

Abbildung 3.1: Aufbau eines Biegestabes für die Mischbehälterwiegung

Abbildung 3.2: Wäge-Mischbehälter in unterschiedlicher Ausführung in Anlage A

Abbildung 3.3: Geschlossener Wäge-Mischbehälter (Anlage B)

Abbildung 3.4: Kreuzbalkenrührwerk

Abbildung 3.5: Propellerkranzrührwerk (incl. Schwallleisten) mit den Strömungsverhältnissen im Wäge-Mischbehälter (Anlage A)

Abbildung 3.6: Rührwerk in Anlage B

Abbildung 3.7: Aufbau einer Kreiselpumpe

Abbildung 3.8: Rohrleitungsplan der Flüssigfütterungsanlage mit 24 Ventilen (Nr. 0 - 23)

Abbildung 3.9: Aufbau eines PVC-Futtermittels

Abbildung 3.10: Programmstruktur (Anlage B)

Abbildung 3.11: Durchführung der Handentnahme

Abbildung 3.12: Probenmessstab in unterschiedlicher Ausführung
(Links 1,5 Meter, rechts 0,5 Meter)

Abbildung 3.13: Konstruktionsdaten zum Probenmessstab

Abbildung 3.14: Durchführung der Probenahme mit dem Probenmessstab

Abbildung 3.15: Durchführung der Probenahme mit dem Radprobenteiler

Abbildung 3.16: Laborprobenteiler PT

Abbildung 3.17: Probenteilung mit dem Laborprobenteiler

Abbildung 4.1: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (TM)

Abbildung 4.2: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rundtonne (TM)

Abbildung 4.3: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (RA)

Abbildung 4.4: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rundtonne (RA)

Abbildung 4.5: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (Ca und P)

Abbildung 4.6: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rundtonne (Ca und P)

Abbildung 4.7: Messgenauigkeit Handentnahme, Rechtecktonne (Cu und Zn)

- Abbildung 4.8: Messgenauigkeit Handentnahme, Rundtonne (Cu und Zn)
- Abbildung 4.9: Messgenauigkeit der Handentnahme, Rechtecktonne (RP)
- Abbildung 4.10: Messgenauigkeit Handentnahme, Rundtonne (RP)
- Abbildung 4.11: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (TM)
- Abbildung 4.12: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (RA)
- Abbildung 4.13: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (Ca und P)
- Abbildung 4.14: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (Cu und Zn)
- Abbildung 4.15: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenehmern (RP)
- Abbildung 4.16: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (TM)
- Abbildung 4.17: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (RA)
- Abbildung 4.18: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (Ca und P)
- Abbildung 4.19: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (Cu und Zn)
- Abbildung 4.20: Messgenauigkeit der Handentnahme mit verschiedenen Probenvolumina (RP)
- Abbildung 4.21: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (TM)
- Abbildung 4.22: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (RA)
- Abbildung 4.23: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (Ca)
- Abbildung 4.24: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (P)
- Abbildung 4.25: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (Cu)
- Abbildung 4.26: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (Zn)
- Abbildung 4.27: Messgenauigkeit der Probenahme mit dem Probenmessstab (RP)
- Abbildung 4.28: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (TM)
- Abbildung 4.29: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (RA)
- Abbildung 4.30: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (Ca)
- Abbildung 4.31: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (P)
- Abbildung 4.32: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (Cu)
- Abbildung 4.33: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (Zn)
- Abbildung 4.34: Messwerte der einzelnen Kammern des Probenmessstabes (RP)
- Abbildung 4.35: Probenahme im Anmischbehälter ohne Bypass (TM)
- Abbildung 4.36: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (RA)
- Abbildung 4.37: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (Ca)

- Abbildung 4.38: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (P)
- Abbildung 4.39: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (Cu)
- Abbildung 4.40: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (Zn)
- Abbildung 4.41: Homogenität im Anmischbehälter ohne Bypass (RP)
- Abbildung 4.42: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (TM)
- Abbildung 4.43: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (RA)
- Abbildung 4.44: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (RP)
- Abbildung 4.45: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (bewegte Füttersäule, Ca, P)
- Abbildung 4.46: Messgenauigkeit des Radprobenteilers (bewegte Füttersäule, Cu, Zn)
- Abbildung 4.47: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (TM)
- Abbildung 4.48: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (RA)
- Abbildung 4.49: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (Ca, P)
- Abbildung 4.50: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (Cu, Zn)
- Abbildung 4.51: Messgenauigkeit Laborprobenteiler (RP)
- Abbildung 4.52: Einfluss der Quellungsdauer auf den TM-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung A
- Abbildung 4.53: Einfluss der Quellungsdauer auf den TM-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung B
- Abbildung 4.54: Einfluss der Quellungsdauer auf den OS-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung A
- Abbildung 4.55: Einfluss der Quellungsdauer auf den OS-Gehalt in unterschiedlicher Schichthöhe im Anmischbehälter bei Mischung B
- Abbildung 4.56: Vergleich unterschiedlicher Rührwerke (Trockenmasse in %: absolute Abweichung vom Gesamtmittel; Anlage B ohne Kammer 1)
- Abbildung 4.57: Vergleich unterschiedlicher Rührwerke (Rohasche, relative Abweichung in % vom Gesamtmittel)
- Abbildung 4.58: Homogenität der Füttersuppe nach unterschiedlicher Abschaltzeit des Rührwerkes (TM)
- Abbildung 4.59: Homogenität der Füttersuppe nach unterschiedlicher Abschaltzeit des Rührwerkes (RA)
- Abbildung 4.60: Einfluss des Futter-Wasser-Verhältnisses (FWV) auf die Homogenität des Flüssigfutters nach Abschalten des Rührwerkes (TM in %; absolute Abweichung vom Gesamtmittel)
- Abbildung 4.61: Einfluss des Futter-Wasser-Verhältnisses (FWV) auf die Homogenität des Flüssigfutters nach Abschalten des Rührwerkes (RA in %; absolute Abweichung vom Gesamtmittel)
- Abbildung 4.62: Die Dosiergenauigkeit der Anlage A mit unterschiedlichem Rührwerk bei 25 kg Sollmasse - Abweichungen vom Sollwert

- Abbildung 4.63: Die Dosiergenauigkeit der Anlage A mit unterschiedlichem Rührwerk bei 5 kg Sollmasse - Abweichungen vom Sollwert
- Abbildung 4.64: Quantitative Dosiergenauigkeit der beiden Flüssigfütterungsanlage für die Sollmasse von 20 kg
- Abbildung 4.65: Quantitative Dosiergenauigkeit der Schauer- und der Big Dutchman-Flüssigfütterungsanlage für die Sollmasse von 40 kg
- Abbildung 4.66: Quantitative Dosiergenauigkeit der Schauer- und der Big Dutchman-Flüssigfütterungsanlage für die Sollmasse von 60 kg
- Abbildung 4.67: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlage B (relativ)
- Abbildung 4.68: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlage A (relativ)
- Abbildung 4.69: Quantitative Dosiergenauigkeit der beiden Anlagen (relativ)
- Abbildung 4.70: Variation des Trockenmassegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg
- Abbildung 4.71: Variation des Trockenmassegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg
- Abbildung 4.72: Variation des Rohaschegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg
- Abbildung 4.73: Variation des Rohaschegehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg
- Abbildung 4.74: Variation des Rohproteingehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg
- Abbildung 4.75: Variation des Rohproteingehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg
- Abbildung 4.76: Variation des Phosphorgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg
- Abbildung 4.77: Variation des Phosphorgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg
- Abbildung 4.78: Variation des Calciumgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg
- Abbildung 4.79: Variation des Calciumgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg
- Abbildung 4.80: Variation des Zinkgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg
- Abbildung 4.81: Variation des Zinkgehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg
- Abbildung 4.82: Variation des Kupfergehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 25 kg
- Abbildung 4.83: Variation des Kupfergehaltes im Flüssigfutter an verschiedenen Ventilen bei einer Dosierung von 5 kg
- Abbildung 4.84: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt der beiden Fütterungsanlagen bei einer Sollmasse von 20 kg

- Abbildung 4.85: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt (relativ)
der Anlage B bezogen auf den Sollwert
- Abbildung 4.86: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt (relativ)
der Anlage A bezogen auf den Sollwert
- Abbildung 4.87: Qualitative Dosiergenauigkeit im Trockenmassegehalt (relativ)
beider Anlagen bezogen auf den Sollwert
- Abbildung 4.88: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ)
beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg
- Abbildung 4.89: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ)
der Anlage B bezogen auf den Sollwert
- Abbildung 4.90: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ)
der Anlage A bezogen auf den Sollwert
- Abbildung 4.91: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ)
beider Anlagen mit unterschiedlichen Sollmassen
- Abbildung 4.92: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohprotein (relativ)
beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg
- Abbildung 4.93: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohproteingehalt (relativ)
der Anlage B bezogen auf den Sollwert
- Abbildung 4.94: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ)
der Anlage A bezogen auf den Sollwert
- Abbildung 4.95: Qualitative Dosiergenauigkeit im Rohaschegehalt (relativ)
beider Anlagen mit unterschiedlichen Sollmassen
- Abbildung 4.96: Qualitative Dosiergenauigkeit im Calciumgehalt (relativ)
beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg
- Abbildung 4.97: Qualitative Dosiergenauigkeit im Phosphorgehalt (relativ)
beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg
- Abbildung 4.98: Qualitative Dosiergenauigkeit im Zinkgehalt (relativ)
beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg
- Abbildung 4.99: Qualitative Dosiergenauigkeit im Kupfergehalt (relativ)
beider Anlagen bei einer Sollmasse von 20 kg
- Abbildung 4.100: Verfahren der Probenaufbereitung im Vergleich

Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 2.1: Fließfuttermenge je Mahlzeit bei zweimaliger Fütterung in Abhängigkeit von der Lebendmasse der Schweine und dem Energiegehalt des Futters (nach BURGSTALLER 1989)
- Tabelle 3.1: Die Hauptmenüpunkte im Programm und deren Funktion (Anlage A)
- Tabelle 4.1: Bewertung der einzelnen Probenahmeverfahren
- Tabelle 4.2: Quantitative Dosiergenauigkeit für 25 kg Sollmasse an 10 Dosierventilen bei unterschiedlichem Rührwerk im Mischbehälter (5 Werte pro Ventile und Rührwerk)
- Tabelle 4.3: Quantitative Dosiergenauigkeit für 5 kg Sollmasse an 10 Dosierventilen bei unterschiedlichem Rührwerk im Mischbehälter (5 Werte pro Ventile und Rührwerk)
- Tabelle 4.4: Quantitative Dosiergenauigkeit für Anlage 1 (relativ) bei unterschiedlichen Rührwerken (10 Werte pro Ventil und Rührwerk)
- Tabelle 4.5: Quantitative Dosiergenauigkeit der Anlage B
- Tabelle 4.6: Quantitativen Dosiergenauigkeit der Anlage A
- Tabelle 4.7: Quantitative Dosiergenauigkeit beider Anlagen für die Sollmassen 20, 40 und 60 kg (relativ)
- Tabelle 4.8: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (TM %)
- Tabelle 4.9: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (TM %)
- Tabelle 4.10: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (RA und RP in % TM)
- Tabelle 4.11: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (RA und RP in % TM)
- Tabelle 4.12: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (Ca und P in g/kg TM)
- Tabelle 4.13: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (Ca und P in g/kg TM)
- Tabelle 4.14: Qualitative Dosiergenauigkeit für 25 kg-Ausdosierung (Zn u. Cu in mg/kg TM)
- Tabelle 4.15: Qualitative Dosiergenauigkeit für 5 kg-Ausdosierung (Zn und Cu in mg/kg TM)
- Tabelle 4.16: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (TM in %)
- Tabelle 4.17: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 40 kg (TM in %)
- Tabelle 4.18: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 60 kg (TM in %)
- Tabelle 4.19: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (RA und RP in % der TM)
- Tabelle 4.20: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 40 kg (RA und RP in % der TM)
- Tabelle 4.21: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 60 kg (RA und RP in % der TM)
- Tabelle 4.22: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (Ca und P in g/kg TM)
- Tabelle 4.23: Qualitative Dosiergenauigkeit bei einer Sollmasse von 20 kg (Zn und Cu in mg/kg TM)

Tabelle 4.24: Löslichkeit der Mineralfutterbestandteile in % (Verfahren a)

Tabelle 4.25: Löslichkeit (%) der Mineralfutterbestandteile (Verfahren b)

Tabelle 4.26: Prozentualer Anteil der jeweiligen Siebfraktion sowie der Dichte von Mineralfutter

Tabelle 4.27: Dichte (kg/m^3) von Siebfraktionen einiger Mineralfutter (MF)

Tabelle 5.1: Nährstoffgehalt und relativer Anteil der Futtermittel am Nährstoffgehalt von Flüssigfutter der Mischung A

Tabelle 5.2: Varianzanalytische Aufteilung des Gesamt-Probenahmefehlers aus der Untersuchung des Nährstoffprofils in Flüssigfutter (Mischung B) nach der Ausdosierung von 20 kg an neun Ventilen durch zwei Anlagen (Versuch 2)

Tabelle 5.3: Korrelation zwischen Nährstoffkonzentration und Rangfolge des Ventils (1 bis 10) in der Ausdosierung an zehn Ventilen (Versuch 1: Futtermischung B)

Tabelle 5.4: Variation der TM- und RA-Konzentrationen im Flüssigfutter nach unterschiedlicher Abschaltzeit des Rührwerks

Tabelle 5.5: Korrelation zwischen Nährstoffkonzentration und Rangfolge der zehn Ventile in der Ausdosierung bei der Anlage A

Tabelle 5.6: Korrelation zwischen Nährstoffkonzentration und Rangfolge des Ventils in der Ausdosierung an neun Ventilen durch Anlage A und B

Danksagung

Es ist eine lange Zeit vergangen, seit ich am Institut für Tierernährung im September 1990 als wissenschaftlicher Mitarbeiter angefangen habe. Dass meine Doktorarbeit trotz allem noch zu einem guten Ende gekommen ist, habe ich Professor Weigand, Professor Hans-Peter Schwarz und nicht zuletzt auch meiner Frau Ulrike zu verdanken.

Ganz besonders möchte ich mich bei Professor Weigand für seine unendliche Geduld, seine vielfältige Unterstützung und seine vielen konstruktiven Anregungen bedanken.

Auch Professor Hans-Peter Schwarz hat als anerkannter Experte in seiner Zeit am Institut für Landtechnik viel zur praktischen Versuchsgestaltung beigetragen und mich in den Versuchen und bei den Auswertungen tatkräftig unterstützt.

Professor Eichhorn möchte ich ebenso meinen Dank aussprechen, der entscheidend zum Zustandekommen des interdisziplinären Forschungsprojektes beigetragen hat. Für unsere Probleme hatte er immer ein offenes Ohr.

Mein Dank gilt auch Carmen Weirich, stellvertretend für alle Mitarbeiter der beiden Institute, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Bedanken möchte ich mich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), die die Arbeit finanziell unterstützt hat.

Allen anderen, die hier nicht namentlich erwähnt wurden, die mich aber, in welcher Form auch immer, unterstützt haben, möchte ich noch einmal ausdrücklich danken.

Ich hoffe, dass auch für meine Dissertation die alte Volksweisheit gilt:

Was lange währt, wird endlich gut.

Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Gießen, den 30. Oktober 2008

Jürgen Luft

